Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

LE DIOXYDE DE CARBONE

Canada

octobre 1984

85-5539/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LE DIOXYDE DE CARBONE

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

OTTAWA
OCTOBRE 1984
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par le Service des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Carbon Dioxide
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. En 48-10/24-1985F
ISBN 0-662-92991-8
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	IX
	Définitions	XI
	Sigles	XII
1	**Résumé**	
2	**Propriétés physiques et chimiques**	
3	**Production, transport et commerce**	
3.1	Qualités et teneurs	10
3.1.1	Dioxyde de carbone à l'état solide - glace sèche	10
3.1.2	Dioxyde de carbone liquide	10
3.1.3	Dioxyde de carbone à l'état gazeux	10
3.2	Fabricants au Canada	10
3.3	Principaux centres de production	11
3.4	Volume de production	11
3.5	Fabrication du dioxyde de carbone	11
3.5.1	Information générale	11
3.5.2	Matières premières	11
3.5.3	Procédés de fabrication	11
3.6	Principales utilisations au Canada	12
3.7	Principaux acheteurs au Canada	13
4	**Manutention du produit et compatibilité avec certains matériaux**	
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	14
4.1.1	Information générale	14
4.1.2	Bouteilles	14
4.1.3	Wagons-citernes	14
4.1.4	Wagons-citernes routiers	14
4.2	Déchargement	14
4.2.1	Matériel et procédés de déchargement pour les bouteilles	16
4.2.2	Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers	16
4.2.3	Spécifications et matériaux de fabrication du matériel de déchargement	19
4.3	Compatibilité entre le produit et différents matériaux de fabrication	19
5	**Fuite et migration du produit**	20
5.1	Aperçu général	24
5.2	Fuite du produit	25
5.2.1	Introduction	25
5.2.2	Nomogrammes relatifs aux fuites	26
5.2.2.1	Perforation dans le bas	26
5.2.2.2	Perforation sur le dessus; fuite de gaz	26
5.2.3	Exemples de calcul	26
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	28
5.3.1	Introduction	28
5.3.2	Nomogrammes de diffusion de la bouffée de vapeurs	28
5.3.2.1	Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	31
5.3.2.2	Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse	31
5.3.2	Distance parcourue par la bouffée; en fonction du temps écoulé	36
5.3.3	Exemple de calcul	36

6 Protection de l'environnement

6.1 Limites maximales admissibles 40
6.1.1 Qualité de l'eau 40
6.1.2 Qualité de l'air 40
6.2 Toxicité pour le milieu aquatique 40
6.2.1 Situation aux États-Unis 40
6.3 Études sur les effets toxiques 41
6.4 Teneurs en dioxyde de carbone et phénomènes dynamiques dans l'eau 42
6.5 Devenir et effets à long terme 43

7 Protection de la santé

7.1 Normes d'exposition recommandées 44
7.2 Données sur les effets toxiques 45
7.2.1 Contact avec la peau 45
7.2.2 Contact avec les yeux 45
7.2.3 Ingestion 45
7.3 Seuils de perception des caractères organoleptiques 45
7.3.1 Odeur 45
7.3.2 Goût 45
7.4 Études à long terme 45
7.4.1 Inhalation 45
7.4.2 Tératogénicité 45
7.4.3 Carcinogénicité 48
7.5 Symptômes d'exposition et d'intoxication 49
7.5.1 Inhalation 49
7.5.2 Contact avec les yeux 49
7.5.3 Contact avec la peau 49
7.6 Teneurs habituelles de l'air en CO_2 49

8 Compatibilité chimique

8.1 Compatibilité entre le dioxyde de carbone et divers produits chimiques 51

9 Mesures d'intervention et de sécurité

9.1 Mesures recommandées 53
9.1.1 Risques d'incendie 53
9.1.2 Moyens d'extinction 53
9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement 53
9.1.4 Élimination du polluant 53
9.1.5 Appareils et vêtements de protection 53
9.1.6 Précautions spéciales pour l'entreposage des bouteilles 54

10 Cas de déversements accidentels

11 Identification et dosage des polluants

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyse quantitative) 56
11.1.1 Chromatographie en phase gazeuse 56
11.2 Méthode qualitative de mesure du polluant dans l'air 56
11.2.1 Tubes de Draeger 56
11.3 Méthode quantitative de mesure de polluant dans l'eau 56
11.3.1 Titrimétrie 56
11.4 Méthode qualitative de mesure de polluant dans l'eau 57

12 Références et bibliographie

12.1 Références 58
12.2 Bibliographie 63

LISTE DES FIGURES

1 Pression de vapeur en fonction de la température 6
2 Poids spécifique du liquide en fonction de la température 6
3 Masse volumique du gaz en fonction de la température 7
4 Viscosité du liquide en fonction de la température 7
5 Viscosité de la vapeur en fonction de la température 8
6 Solubilité dans l'eau en fonction de la température 8
7 Diagramme de phase 9
8 Bouteilles à gaz 17
9 Wagon-citerne de classe 105A500W 18
10 Wagon-citerne perforé dans le bas ou sur le dessus 25
11 Pourcentage de liquide restant/temps d'écoulement 27
12 Débit de fuite/diamètre de l'orifice 27
13 Pourcentage de dioxyde de carbone restant/temps d'émission 29
14 Débit de fuite/diamètre de l'orifice 29
15 Formation d'une bouffée de vapeurs 30
16 Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse 32
17 Teneur uniformisée en fonction de la distance sous le vent 33
18 Conversion en g/m^3 de la TLV® 34
19 Distance parcourue par la bouffée en fonction du temps écoulé 37
20 Zone dangereuse maximale sous un vent invariable 39
21 Zone dangereuse maximale sous un vent variable 39

LISTE DES TABLEAUX

1 Nomogrammes de conversion 5
2 Spécifications CCT/DOT* relatives aux bouteilles pour dioxyde de carbone 15
3 Spécifications CCT/DOT relatives aux wagons-citernes 15
4 Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 105A500W 15
5 Spécifications des citernes remorquées 16
6 Compatibilité entre le dioxyde de carbone et certains matériaux de fabrication .. 21
7 Conditions météorologiques (catégories de stabilité) 31
8 Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse (pour le dioxyde de carbone) 35

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.	Dose létale minimale
DL 50	Dose létale moyenne
et coll.	et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
IDLH	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	jour
J	Joule
k	Coefficient de perméabilité
l	litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
m_e	Masse émise
MAK	Teneur maximale admissible (norme établie par la RFA)
MAK-K	Teneur maximale admissible (norme établie par la RDA)
MAK-D	Teneur maximale admissible – courte durée (norme établie par la RDA)
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK	Teneur maximale d'immission (norme établie par la RDA)
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse molaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
Pa · s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._c$	Température critique
TE 50	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50	Teneur inhibitrice moyenne
TLm	Tolérance moyenne
TL min.	Teneur létale minimale
TL 50	Teneur létale moyenne
TLV®	*Threshold Limit Value*
TLV®C	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales

TT min.	Teneur toxique minimale	V évap.	Vitesse d'évaporation
u	Vitesse du vent	^{o}Bé	Degré Baumé
μ	Viscosité	^{o}C	Degré Celsius
vap	Vapeur	ϕ	Diamètre
vol.	Volume	x	Distance sous le vent
V	Vitesse d'écoulement	₩	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction
V biod.	Vitesse de biodégradation		

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide». Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. – Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. – Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. – Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). – Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)

1 RÉSUMÉ

1.1 Le dioxyde de carbone (CO_2)

Le dioxyde de carbone est un gaz incolore et inodore. Il se présente également à l'état liquide ou à l'état solide, blanc.

Synonymes
Glace sèche, anhydride carbonique, bioxyde de carbone, neige carbonique, gaz carbonique, dioxyde de carbone liquéfié.

N^os^ d'identification

	Solide	Liquide	Gazeux
UN	1845	2187	1013
CAS	124-38-9	124-38-9	124-38-9
STCC	–	49004509	

Qualités et teneurs
Disponible en diverses qualités ayant généralement une teneur de 99 p. 100 de CO_2.

Dangers immédiats
Incendie. – Le dioxyde de carbone est ininflammable. Il est même très souvent utilisé comme extincteur en cas d'incendie.
Effet sur l'homme. – À de faibles teneurs, le dioxyde de carbone n'est que légèrement toxique pour l'homme, quelque soit la voie d'exposition.
Effet sur l'environnement. – Le dioxyde de carbone est nocif pour certaines espèces vivant en eau douce à des teneurs aussi faibles que 20 mg/l, voire moins.

Données relatives aux propriétés physiques

État (15 °C; 1 atm)	Gaz
Point d'ébullition	Se sublime à -78,5 °C
Inflammabilité	Ininflammable
Pression de vapeur	5,778 kPa (21 °C)
Densité relative (eau = 1)	1,1 (-37 °C) liquide
(air = 1)	1,5 (25 °C) gaz
Solubilité (dans l'eau)	0,145 g/100 ml (25 °C)
Seuil de perception par l'appareil olfactif	Inodore

Dangers pour l'environnement
À des teneurs juste au-dessus de celle considérée comme normale dans l'air ambiant, le dioxyde de carbone est inoffensif pour les plantes et les animaux. Dans l'eau, des teneurs aussi faibles que 20 mg de CO_2 par litre sont nocives pour certaines espèces dulçaquicoles.

Dangers pour l'homme
TLV® (teneur maximale établie par l'ACGIH): 5000 ppm ou 9000 mg/m^3
Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé: 50 000 ppm
Effets en cas d'inhalation: l'inhalation de vapeurs fortement concentrées peut causer des maux de tête, des étourdissements, de l'essoufflement, de la faiblesse musculaire, de la somnolence et

des tintements d'oreilles. Des teneurs de l'ordre de 20 à 30 p. 100 peuvent faire perdre connaissance et causer la mort.
Effets en cas de contact avec la peau: si la peau rentre en contact avec du CO_2 liquide froid ou les formes solides, il y a risque d'engelures.

Dispositions immédiates à prendre
Interdire l'accès aux lieux. Avertir le fabricant. Éviter tout contact avec le produit liquide ou solide et ne pas inhaler les vapeurs qu'il dégage. Éviter que les eaux polluées atteignent un cours d'eau ou des égouts.

2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Propriétés physiques

	Gaz	Liquide	Solide
Aspect	Inodore et incolore (HCG, 1981)	Incolore	Blanc
État à l'expédition		Gaz comprimé liquéfié (HCG, 1981)	Glace sèche
État physique (15 °C; 1 atm)		Gaz	
Point de fusion	–	–	Se sublime avant de fondre à la pression atmosphérique
Point de sublimation	–	–	-78,5 °C (HCG, 1981; Kirk-Othmer, 1978)
Point triple		-56,57 °C à 518 kPa (Ullmann, 1975; Matheson, 1980)	
Pression de vapeur		5,778 kPa (21 °C) (HCG, 1981)	
Densités			
Masse volumique	1,977 g/l (0 °C) (Ullmann, 1975; Matheson, 1980)	0,759 g/ml (25 °C) (Kirk-Othmer, 1978)	–
Densité relative	1,522 (21 °C) (air = 1) (HCG, 1981) 1,53 (0 °C) (Matheson, 1980)	1,101 (-37 °C) (CRC, 1980)	

Propriétés relatives à la combustion

Inflammabilité: Ininflammable (HCG, 1981)

Produit de décomposition: À des températures élevées – au-dessus de 1700 °C – commence à se décomposer en CO; 15,8 p. 100 du produit se décompose à 2222,7 °C (Kirk-Othmer, 1978)

Solubilité

Dans l'eau: 0,348 g/100 ml (0 °C)
0,145 g/100 ml (25 °C) (CRC, 1980)
0,058 g/100 ml (60 °C)

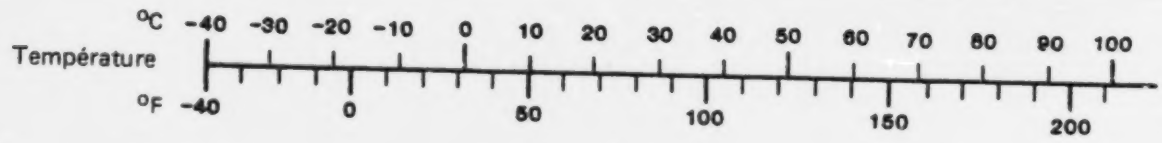
Dans d'autres substances courantes: Soluble dans la plupart des substances à l'état liquide (Linke, 1958). Pour les quelques solvants listés ci-dessous et qui sont parmi les plus couramment utilisés, la solubilité est donnée en cm^3 de CO_2/g de solvant (Ullmann, 1975) (à 10 °C)

Acétone: 10,5
Benzène: 2,9
Diéthyléther: 7,8
Éthanol: 4,3
Méthanol: 5,0
Toluène: 3,4

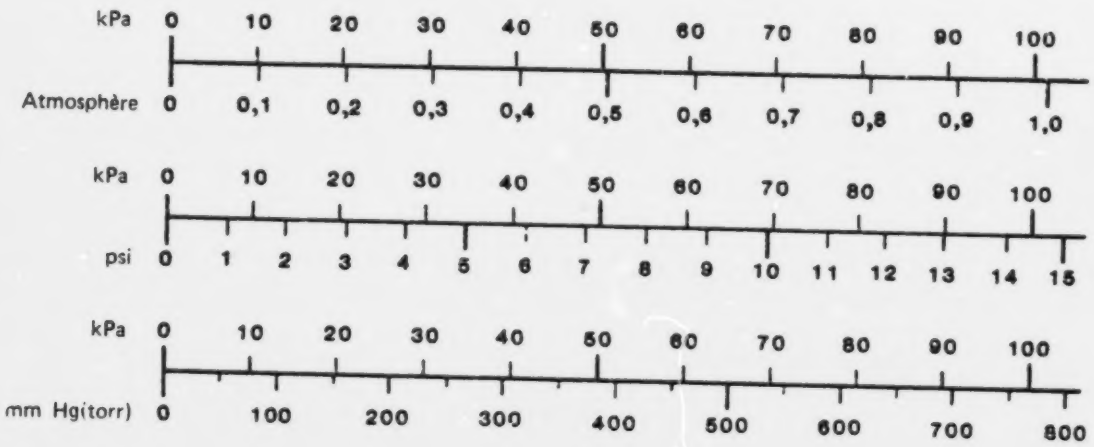
Masse volumique de vapeurs	
Facteur de conversion à 20 °C	1 ppm = 1,829 mg/m^3
Autres propriétés	
Masse moléculaire de la substance pure	44,01 (CRC, 1980)
Composition caractéristique de la qualité commerciale	99,5 p. 100 au minimum de CO_2 (HCG, 1981)
Indice de réfraction	1,000448 à 1,000454 (0 °C) (Matheson, 1974)
Viscosité gaz:	0,015 mPa · s (25 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
liquide:	0,070 mPa · s (20 °C) (Ullmann, 1976)
Tension superficielle liquide-air	1,16 mN/m (liquide à 20 °C) (CRC, 1980)
Tension superficielle liquide-gaz carbonique	9,1 mN/m (-25 °C) (CRC, 1980)
Chaleur latente de fusion	7,95 kJ/mol (-57 °C) (Matheson, 1974)
Chaleur latente de vaporisation	15,3 kJ/mol (-56,5 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Chaleur latente de sublimation	25,1 kJ/mol (-78,5 °C) (HCG, 1981)
Chaleur de formation	-393,5 kJ/mol (25 °C) (JANAF, 1971)
Entropie	213 J/(mol · K) (Ullmann, 1975)
Potentiel d'ionisation	13,77 eV (Rosenstock, 1977)
Constantes d'ionisation (dans l'eau)	première: $3,5 \times 10^{-7}$ (18 °C) deuxième: $4,4 \times 10^{-11}$ (25 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Chaleur molaire (gaz)	
à pression constante	37,564 J/mol · °C (25 °C) (Matheson, 1980)
à volume constant	28,541 J/mol · °C (20 °C) (Matheson, 1980)
Rapport de chaleur massique (α) (pe/ve)	1,316 (Matheson, 1980)
Pression critique	7,382 kPa (HCG, 1981; Matheson, 1980)
Température critique	31,1 °C (HCG, 1981; Kirk-Othmer, 1980)
Coefficient de dilatation thermique	$3,71 \times 10^{-3}$/°C (20 °C) (Perry, 1973)
Conductivité thermique	$1,64 \times 10^{-4}$ W/cm · K^{-1} (25 °C) (Ullmann, 1975)
Teneur saturante calculée	9,482 g/m^3 (15 °C) (CRC, 1980)
Diffusivité (dans l'air)	0,138 cm^2/s (0 °C) (Perry, 1973)
(dans l'eau à 25 °C)	$1,96 \times 10^{-5}$ cm^2/s (Perry, 1973)
pH de la solution aqueuse	3,7 (HCG, 1981)

DIOXYDE DE CARBONE

NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression 1 kPa = 1 000 Pa



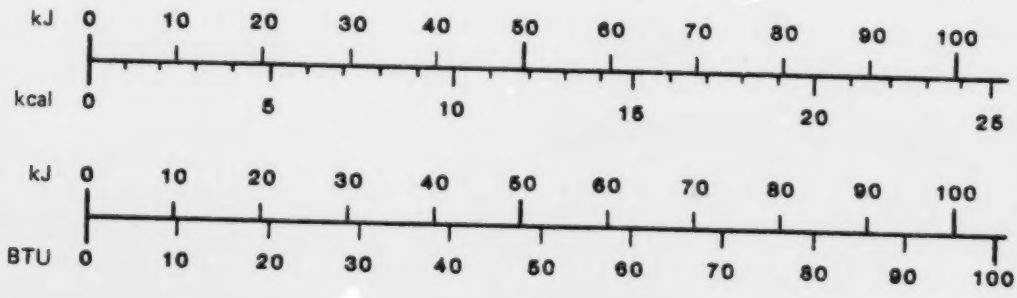
Viscosité

Dynamique 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cPo)

Cinématique 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) 1 kJ = 1 000 J



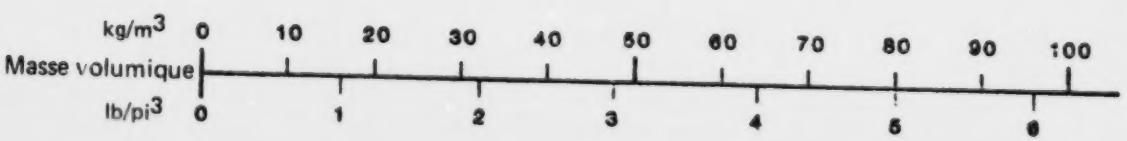


Figure 1

DIOXYDE DE CARBONE

PRESSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: HCG, 1981

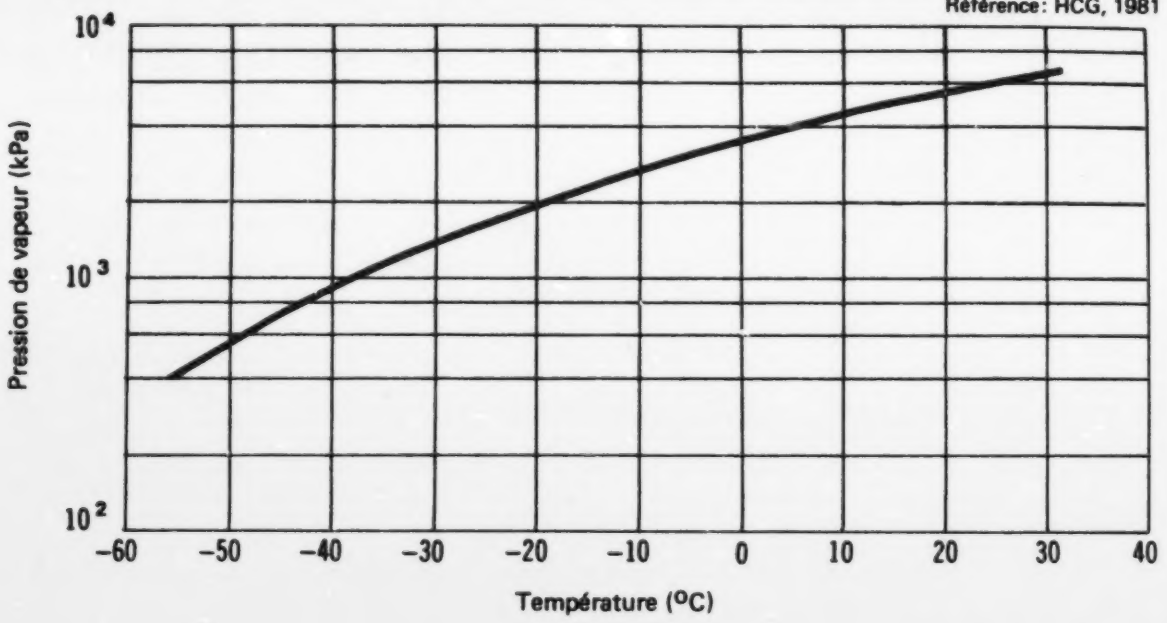


Figure 2

DIOXYDE DE CARBONE

POIDS SPÉCIFIQUE DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: HCG, 1981

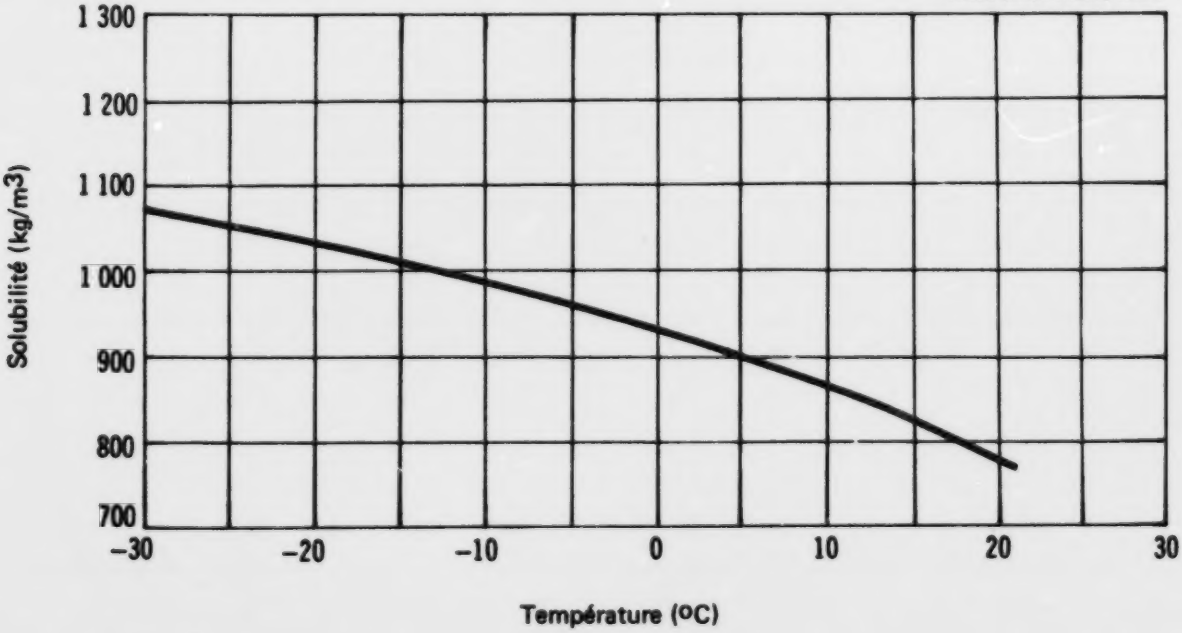


Figure 3

DIOXYDE DE CARBONE

MASSE VOLUMIQUE DU GAZ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Matheson, 1980

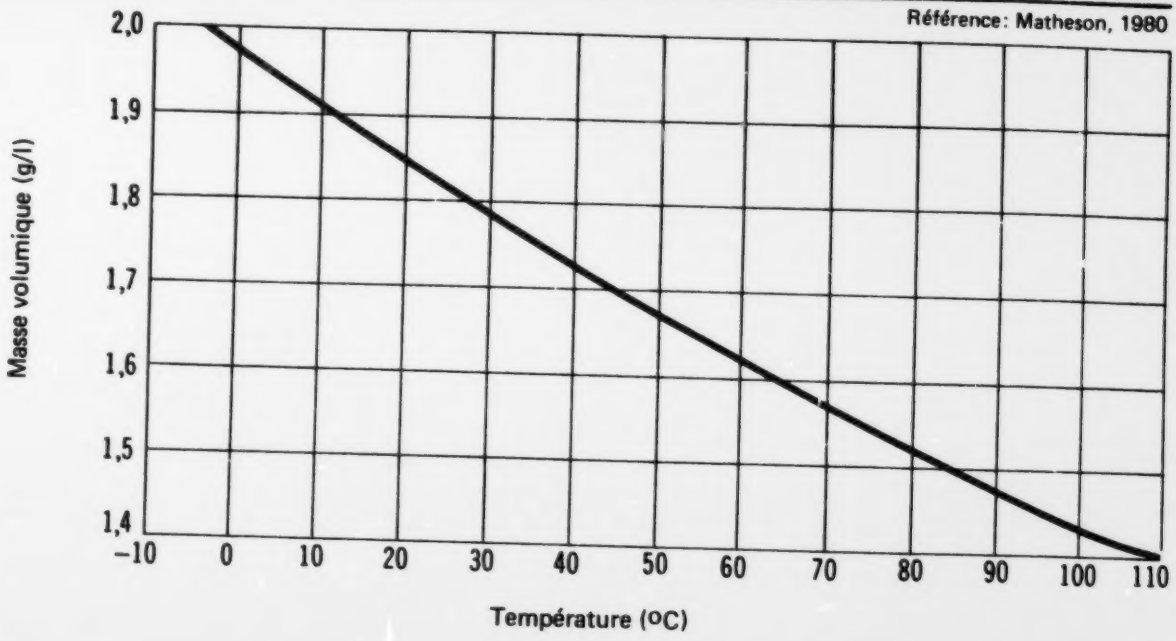


Figure 4

DIOXYDE DE CARBONE

VISCOSITÉ DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Chem. Eng., 1974

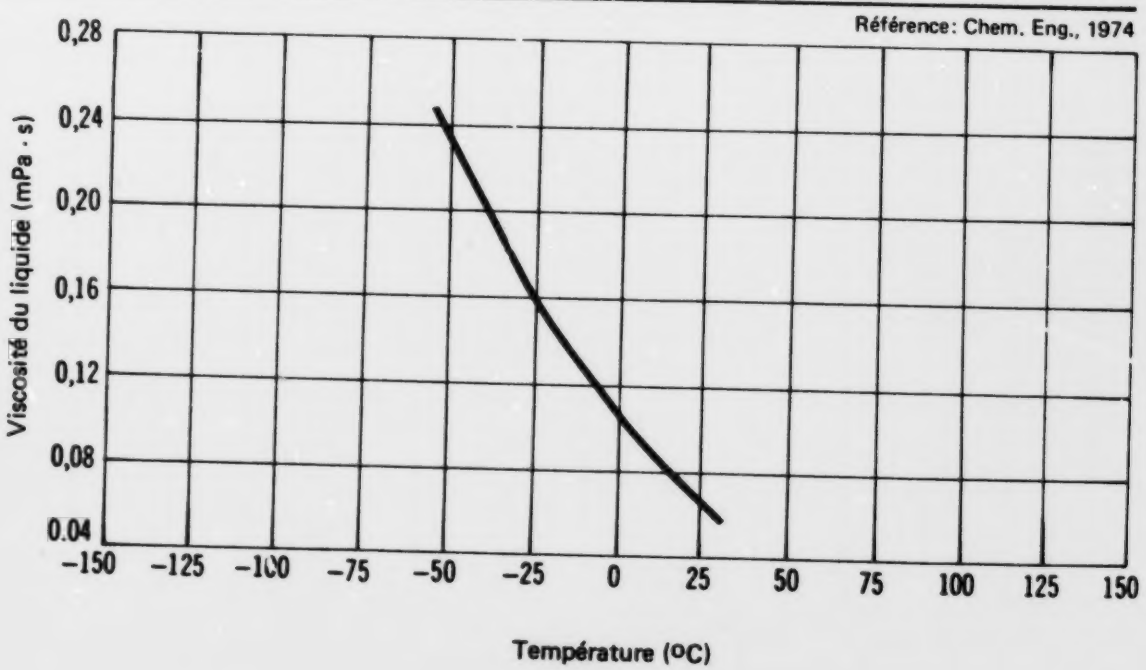


Figure 5

DIOXYDE DE CARBONE

VISCOSITÉ DE LA VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Chem. Eng., 1974

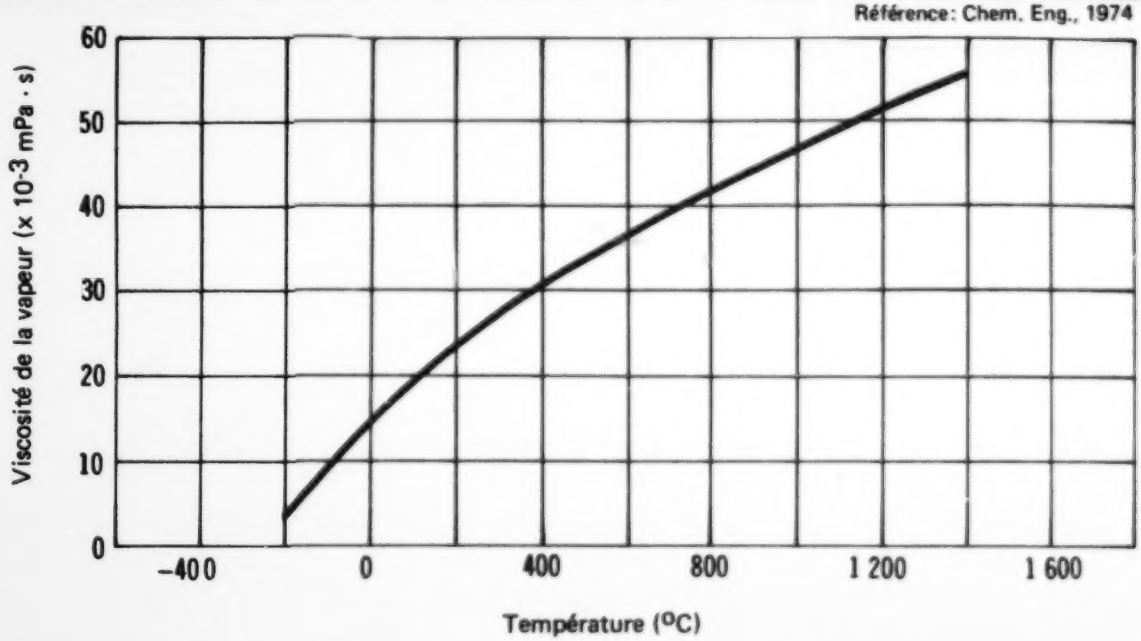


Figure 6

DIOXYDE DE CARBONE

SOLUBILITÉ DANS L'EAU EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Linke, 1958

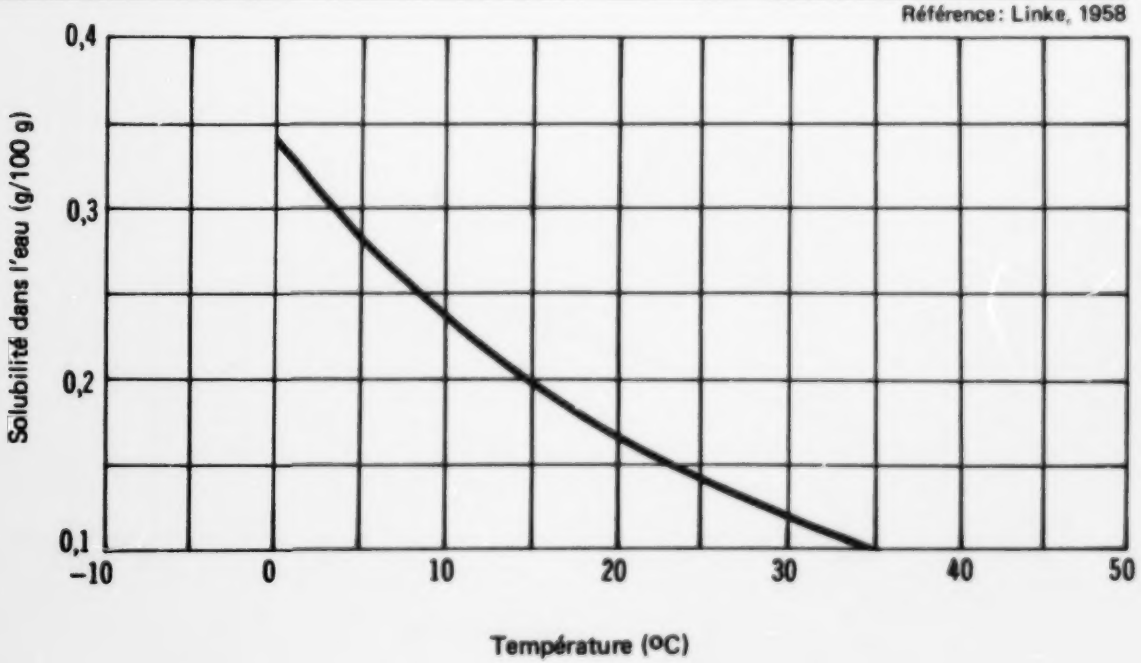
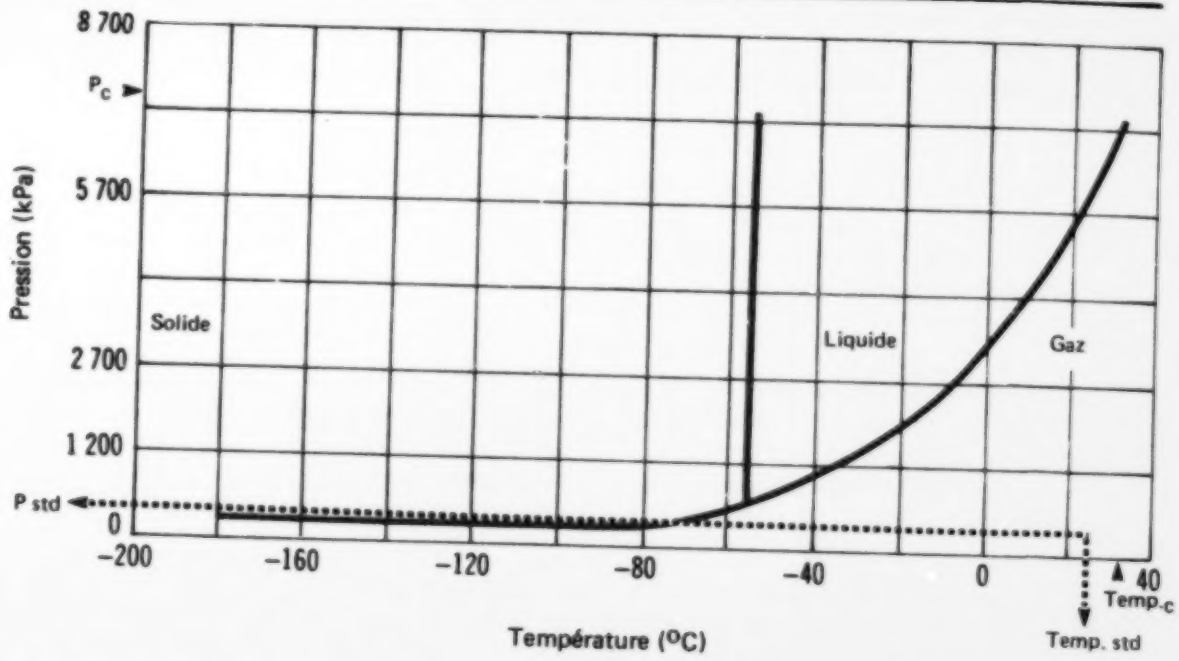


Figure 7

DIOXYDE DE CARBONE

DIAGRAMME DE PHASE



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et teneurs

Le dioxyde de carbone est disponible à l'état liquide, gazeux ou solide.

3.1.1 Dioxyde de carbone à l'état solide - glace sèche (Air Products SGDS, 1981; Liquid Carbonic, 1975). – La glace sèche de qualité commerciale contient généralement 99 p. 100 de dioxyde de carbone ou moins. Il existe également une qualité pour recherches dont la teneur en CO_2 est de 99,995 p. 100 (à une température de -78,4 °C), vendue en gros blocs ou en boulettes.

3.1.2 Dioxyde de carbone liquide (Canadian Liquid Air TDS, 1981; Air Products SGDS, 1981; Liquid Carbonic, 1975). – Le dioxyde de carbone liquéfié contient environ 99 p. 100 de CO_2 et se vend pour expédition en vrac par camion ou chemin de fer. Il peut également s'obtenir dans des systèmes de refroidissement avec récupération du frigorigène opérant à une pression de 2070 kPa, à -17,8 °C. La qualité CGA (Compressed Gaz Association) ou qualité Coleman, contiennent 99,99 p. 100 de CO_2.

3.1.3 Dioxyde de carbone à l'état gazeux (Air Products SGDS, 1981; Liquid Carbonic, 1975). – Le dioxyde de carbone à l'état gazeux est conditionné dans des cylindres normalisés à haute pression (5826 kPa à 21 °C). Il est disponible dans les qualités industrielle, médicale et commerciale (C.P.) titrant au minimum 99,5 p. 100.

3.2 Fabricants au Canada

(Corpus, 1982; CBG, 1980; CCPA, 1981, CCR, 1978; Scott, 1979; CCPA, 1983)

Les adresses qui suivent sont celles des sièges sociaux des compagnies. Ce n'est pas là qu'il faudra nécessairement s'adresser advenant le déversement accidentel de dioxyde de carbone produit par l'une des compagnies listées.

Air liquide du Canada Ltée, 1155 rue Sherbrooke ouest, Montréal, Québec, H3A 1H8, (514) 842-5431
Allied Chemical Canada Inc., 201 City Centre Drive, Mississauga (Ontario), L5B 2T4, (416) 276-9211
Canadian Fertilizers Ltd., P.O. Box 1300, Medicine Hat (Alberta), T1A 7N1, (403) 527-8887
Canadian Industries Ltd., 90 Sheppard Avenue East, P.O. Box 200, Stn. A, Willowdale (Ontario), M2N 6H2, (416) 229-7000
Carbonique liquide du Canada, 1945 Boulevard Graham, Montréal (Québec), H3R 1H1, (514) 731-6461
Cominco Ltd., 200 Granville Street, Vancouver (British Columbia), V6C 2R2, (604) 683-0611
LaCan Carbon Dioxide Ltd., Subsidiary of Canadian Liquid Air Ltd. and Canadian Oxygen, 850 Burlington Street East, P.O. Box 3002, Station B, Hamilton (Ontario), L8L 7Y1, (416) 547-1601
Nitrochem Inc., 2055 rue Peel, Suite 800, Montréal (Québec), H3A 1V4, (514) 849-9222
Northern Brewries Ltd., 503 Bay Street, P.O. Box 280, Sault Ste-Marie (Ontario), P6A 5L9, (705) 254-7373
Sherritt Gordon Mines Ltd., Box 28, Commerce Court West, Toronto (Ontario), M5L 1B1, (416) 363-9241
Simplot Chemical Co. Ltd., P.O. Box 940, Brandon (Manitoba), R7A 6A1, (204) 728-5701
Union Carbide Canada Ltd., 123 Eglinton Avenue East, Toronto (Ontario), M4P 1J3, (416) 488-1444

3.3 Principaux centres de production

Cinquante huit pour cent du dioxyde de carbone produit au Canada proviennent de l'Alberta, en particulier de Medicine Hat, Calgary, Carseland et Fort Saskatchewan. L'Ontario suit avec 28 p. 100 de la production totale, avec des centres de production à Amherstburg, Courtright, Maitland et Niagara Falls. On produit également du dioxyde de carbone au Québec et au Manitoba.

3.4 Volume de production (Corpus, 1983)

Société	Emplacement	Capacité nominale kilotonnes/an (1982)
Air liquide du Canada	Calgary (Alta)	16
Allied Chemical Canada	Amherstburg (Ont.)	220
Canadian Fertilizers	Medicine Hat (Alta)	392
Carbonique liquide du Canada	Montréal (Qc)	85
"	Maitland (Ont.)	57,5
"	Courtright (Ont.)	71,5
"	Brandon (Man.)	25
"	Medicine Hat (Alta)	25,5
CIL	Fort Saskatchewan (Alta)	53
Cominco	Courtright (Ont.)	144
LaCan	Calgary, Carseland (Alta)	455
Nitrochem	Niagara Falls (Ont.)	47,5
Sherritt Gordon Mines	Maitland (Ont.)	40
Simplot Chemical	Fort Saskatchewan (Alta)	72
Union Carbide Canada	Brandon (Man.)	128
	Montréal (Qc)	58
TOTAL		1890
Production nationale (1982)		1452,5
Importations (1982)		3
TOTAL		1455,5

3.5 Fabrication du dioxyde de carbone
(Shreve, 1977; Kirk-Othmer, 1978)

3.5.1 Information générale. – Le dioxyde de carbone est un sous-produit de la production d'ammoniac synthétique, d'hydrogène et de soude Solvay. Il est également tiré des gaz de combustion et de fermentation.

3.5.2 Matières premières

I Gaz de combustion et de procédés chimiques
II Gaz de fermentation

3.5.3 Procédés de fabrication

I. Le dioxyde de carbone tiré des gaz de combustion et de procédés chimiques est purifié et concentré par absorption. Le gaz est premièrement purifié dans des tours de lavage puis

il est absorbé dans une colonne au moyen de solutions de carbonate neutre de sodium et de carbonate de potassium, et d'éthanolamine. Le dioxyde de carbone est débarrassé de l'absorbant par chauffage à la vapeur dans une autre tour; il est ensuite refroidi, à nouveau lavé pour le débarrasser des amines et sulfures résiduels, comprimé, refroidi et finalement liquéfié.

II. Le dioxyde de carbone tiré des gaz de fermentation est presque pur (99,5 p. 100) si bien qu'il n'est pas nécessaire de le concentrer par absorption. Le gaz est acheminé directement dans des tours de lavage pour le débarrasser des vapeurs d'alcool résiduelles et oxyder les matières organiques avec une solution de chromate de sodium, potassium ou autre. Le gaz est déshydraté avec de l'acide sulfurique puis lavé avec une solution de carbonates pour le débarrasser de son acide résiduel. On utilise de la glycérine pour rendre le gaz inodore. Le gaz est finalement comprimé pour entreposage.

3.6 Principales utilisations au Canada

(Corpus, 1983; Air Products SGDS, 1981; Liquid Carbonic, 1975)

Le dioxyde de carbone est utilisé en grande quantité pour la préparation de l'urée, de la soude Solvay, des boissons gazeuses et eaux minérales, comme gaz protecteur dans l'industrie, et dans l'industrie pétrolière (récupération tertiaire du pétrole, etc.) En 1982, 73 p. 100 du dioxyde de carbone produit au Canada ont servi à la production d'urée et 15 p. 100 à la production de soude Solvay. Le reste se répartit assez également entre les autres utilisations.

3.6.1 **CO_2 solide.** – Le CO_2 solide ou glace sèche, est abondamment utilisé pour

- la réfrigération des produits alimentaires;
- le mélange et la pulvérisation de matériaux sensibles à la chaleur, dans les procédés industriels;
- le contrôle de la température des réactions chimiques.

3.6.2 **CO_2 liquide.** – À l'état liquide, le CO_2 est surtout utilisé comme

- réfrigérant dans l'industrie alimentaire;
- réfrigérant pour wagons, navires et camions frigorifiques;
- source de pression pour l'extraction du charbon, les outils à gaz comprimé, etc.

3.6.3 **CO_2 gazeux.** – Le CO_2 gazeux est utilisé principalement dans

- la fabrication et la conservation des denrées périssables pour créer une atmosphère inerte;
- la carbonatation des boissons gazeuses;
- le soudage à l'arc (création d'atmosphère inerte);
- les aérosols (comme gaz de propulsion);
- les extincteurs;
- la préparation de l'acide salicylique (Aspirin);
- l'épuration des eaux usées alcalines;
- la fabrication des noyaux et moules de fonderie.

3.7 Principaux acheteurs au Canada
(Corpus, 1983; CBG, 1980)

Alberta Gas Ethylene, Joffre (Alta)
BASF Canada, Laval (Qc); Cornwall (Ont.)
Baldwin & Kroll, Edmonton (Alta)
Beta Well Service, Edmonton (Alta)
Borg-Warner, Calgary (Alta)
Budd Automotive, Kitchener (Ont.)
Burns Foods, Calgary (Alta)
C-I-L, Edmonton (Alta)
C-I-L, Toronto (Ont.)
Canada Dry, Toronto (Ont.)
Canada Packers, Toronto (Ont.)
Chubb Industries, Brampton (Ont.)
Coca-Cola, Toronto (Ont.)
Dominion Dairies, Toronto (Ont.)
Dow Chemical Canada, Sarnia (Ont.):
Fort Saskatchewan (Alta)
Dowell of Canada, Calgary (Alta)
DuPont Canada, Maitland, Sarnia (Ont.)
Esso Chemical Canada, Sarnia (Ont.)
Ethyl Canada, Sarnia (Ont.)
Firestone Canada, Hamilton (Ont.)
Ford Motor, Windsor (Ont.)
Glidden, Div. SICO, Toronto (Ont.)
B.F. Goodrich Canada, Kitchener (Ont.)
Goodyear Canada, Toronto (Ont.); Valleyfield (Qc)
Halliburton Services, Calgary (Alta)
Hayes-Dana, Thorold (Ont.)
International Paints, Montréal (Qc)
Michelin Tire, Granton (N.-É.)
Monsanto Canada, Montréal (Qc)
Nowsco Well Service, Calgary (Alta)
PPG Industries Canada, Toronto (Ont.)
Pepsi-Cola, Toronto (Ont.)
Petrosar, Corunna (Ont.)
Polysar, Sarnia (Ont.)
Schlumberger of Canada, Calgary (Alta)
Seven-Up Canada, Toronto (Ont.)
Sherwin-Williams Canada, Montréal (Qc)
Swift Canadian, Toronto (Ont.)
Union Carbide Canada, Montréal (Qc)
Uniroyal Canada, Kitchener (Ont.)

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ AVEC CERTAINS MATÉRIAUX

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Information générale. – Le dioxyde de carbone liquide est généralement transporté dans des bouteilles, des wagons-citernes ou des véhicules-citernes routiers en acier, munis de dispositifs de sécurité.

4.1.2 Bouteilles. – Les bouteilles sont fabriquées en acier sans soudure. Leur poids net varie de 9 kg à 23 kg (4 à 70 lb) (CSS). Ces bouteilles doivent être conformes aux spécifications de la CCT et du DOT n^{os} 3A1800, 3AA1800, 3AAX1800 et 3E1800. Les bouteilles de catégorie 3A ou 3AA à forte pression d'utilisation peuvent convenir (HCG, 1981). Chaque bouteille est équipée d'une membrane d'éclatement qui se rompt si la pression interne s'élève au-delà de 19 300 kPa (2800 psi) (TDGC, 1980). Ces bouteilles ne servent bien entendu que pour un usage restreint de dioxyde de carbone (GPD). Les bouteilles le plus couramment utilisées sont illustrées à la figure 8. Les bouteilles destinées aux laboratoires sont munies de raccords adaptables au régulateur CGA 320, avec filetage extérieur à droite de 0,825 pouce, 14 filets au pouce, avec joint plat (Matheson, 1980). Les blocs de glace sèche pèsent entre 23 et 27 kg (50 à 60 lb) et sont emballés dans des sacs de papier kraft épais. Ils sont entreposés et expédiés dans des contenants et boîtes d'entreposage de diverses grandeurs, isolés.

4.1.3 Wagons-citernes. – Les spécifications des wagons-citernes utilisés pour le transport du dioxyde de carbone sont données au tableau 3. La figure 9 montre un schéma du wagon-citerne classe 105A500W et le tableau 4 fournit les données chiffrées se rapportant à ce type de wagon. La seule ouverture permise dans la citerne est un trou d'homme situé au centre de sa partie supérieure. À l'intérieur du dôme se trouvent quatre robinets d'équerre, une soupape de sûreté et de décharge et deux régulateurs de pression. La soupape de sûreté doit être réglée pour fonctionner à une pression au plus égale aux 3/4 de la pression d'épreuve de la citerne. Deux des robinets d'équerre servent à décharger le dioxyde de carbone liquide et les deux autres sont raccordés à la phase gazeuse. Sous chacun des deux robinets d'équerre se trouve un tube plongeur de déchargement fixé au couvercle du trou d'homme. Chaque tube plongeur est surmonté d'un limiteur de débit à bille, placé immédiatement sous le couvercle du trou d'homme, conçu pour fonctionner lorsque le débit du dioxyde de carbone excède 3180 kg/h. Il s'agit d'un dispositif de protection qui se ferme automatiquement si le robinet d'équerre se brise ou que le tube plongeur de déchargement se rompt ou se détache (TCM, 1979).

4.1.4 Véhicules-citernes routiers. – Pour le transport routier du dioxyde de carbone, on utilise des semi-remorques tractées. Le poids utile ne doit pas dépasser les limites de charge propres au transport sur route. Les citernes doivent être conformes aux spécifications TC331 ou MC331 décrites au tableau 5 (HCG, 1981). La capacité des véhicules-citernes routiers varie selon les exigences des utilisateurs. Toutes les citernes sont garnies d'une épaisse couche d'isolant (CE, 1975). La seule ouverture permise dans ce genre de citerne est le trou d'homme situé dans sa partie supérieure.

Tablea ı 2
Spécifications CCT/DOT* relatives aux bouteilles pour dioxyde de carbone

Spécifications	Description de la bouteille
3A1800	En acier sans soudure. Pression d'utilisation maximale: 12 400 kPa (1800 psi).
3AA1800	En acier sans soudure. Pression d'utilisation maximale: 12 400 kPa (1800 psi). Obligatoirement en aciers prescrits ne contenant pas plus de 0,28 p. 100 de carbone.
3AAX1800	En acier sans soudure. Pression d'utilisation maximale: 12 400 kPa (1800 psi). Pouvant contenir au minimum 455 kg d'eau.
3E1800	En acier sans soudure. Pression d'utilisation maximale: 12 400 kPa (1800 psi). Diamètre maximal: 50 mm (2 po). Longueur maximale: 616 mm (24 po).

* Department of Transportation (U.S.A.)

Tableau 3
Spécifications CCT/DOT relatives aux wagons-citernes

Spécifications	Description
105A500W	Citerne isolée, en acier soudé à la forge, avec trou d'homme. Organes de déchargement par le haut obligatoires. Pression d'utilisation maximum: 3450 kPa (500 psi). Orifice de déchargement par le bas ou de purge interdits.
105A600W	Identique à 105A500W à l'exception de la pression d'utilisation qui ne doit pas excéder 4140 kPa (600 psi).

Tableau 4
Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 105A500W (TCM, 1979; RTDCR, 1974)

	Contenance de la citerne (gal imp.)	
Description	8 800 gal (55 t)	15 000 gal (90 t)
Structure		
Capacité nominale	40 000 l (8 800 gal)	68 000 l (15 000 gal)
Tare (poids à vide)	33 800 kg (74 600 lb)	37 400 kg (82 500 lb)
Masse brute maximale	99 800 kg (220 000 lb)	106 400 kg (263 000 lb)
Citerne		
Matériau	Acier	Acier
Épaisseur	17 - 24 mm (11/16 - 15/16 po)	17 - 24 mm (11/16 - 15/16 po)
Diamètre intérieur	2,2 m (88 po)	2,6 m (102 po)
Pression d'épreuve	3450 kPa (500 psi)	3450 kPa (500 psi)
Pression d'éclatement	8620 kPa (1250 psi)	8620 kPa (1250 psi)

Dimensions approximatives		
Longueur avec organes d'attelage	13 m (41 pi)	15 m (48 pi)
Longueur avec pylônes de choc	12 m (39 pi)	14 m (46 pi)
Longueur entre pivots de bogies	9 m (28 pi)	11 m (35 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2 - 3 m (7 - 10 pi)	2 - 3 m (7 - 10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)
Dispositifs de chargement/déchargement		
Raccord de déchargement	Robinet de 51 mm (2 po) et clapet de retenue de 76 mm (3 po); orifice de sortie de 6 mm (1/4 po)	
Robinetterie	Robinet de 51 mm (2 po) de phase gazeuse	
Jaugeage	Jauge de niveau et puits thermométrique	
Dispositifs de sécurité	Soupape de sûreté réglée à 2590 kPa (375 psi)	
Calorifugeage	En fibre de verre, 51 à 152 mm (2 - 6 po)	

Tableau 5
Spécifications des citernes remorquées

Spécification du MDT*	Description de la citerne
TC331 (ou MC331)	Citerne en acier sans joint ou en acier soudé. Conception et construction conformes aux prescriptions du code ASME. Une ouverture avec capot protecteur et couvercle de trou d'homme. Pression nominale maximale de 3450 kPa (500 psi). Isolée. Traitement post-chauffage après soudage conforme aux prescriptions du code ASME. Jauge interdite.

* Ministère des Transports.

Ces citernes sont également équipées de quatre robinets d'équerre, une soupape de sûreté et de décharge et deux régulateurs de pression. À l'instar des wagons-citernes, deux des robinets d'équerre servent à décharger le dioxyde de carbone liquide. Ils sont raccordés à des tubes plongeurs de déchargement dotés d'un limiteur de débit. La soupape de sûreté à ressort de type à goupille de cisaillement, est conçue pour fonctionner à 110 p. 100 de la pression nominale de la citerne. Un ou plusieurs disques de rupture réglés pour fonctionner à une pression située entre plus de une fois et demie (1,5) mais moins de deux (2) fois le pression nominale, sont requis. La citerne doit également être munie d'au moins un régulateur de pression en plus de la soupape de sûreté et de décharge (TDGC, 1980).

Un manomètre muni d'un robinet permettant de le mettre hors service est également exigé (TDGC, 1980).

4.2 Déchargement

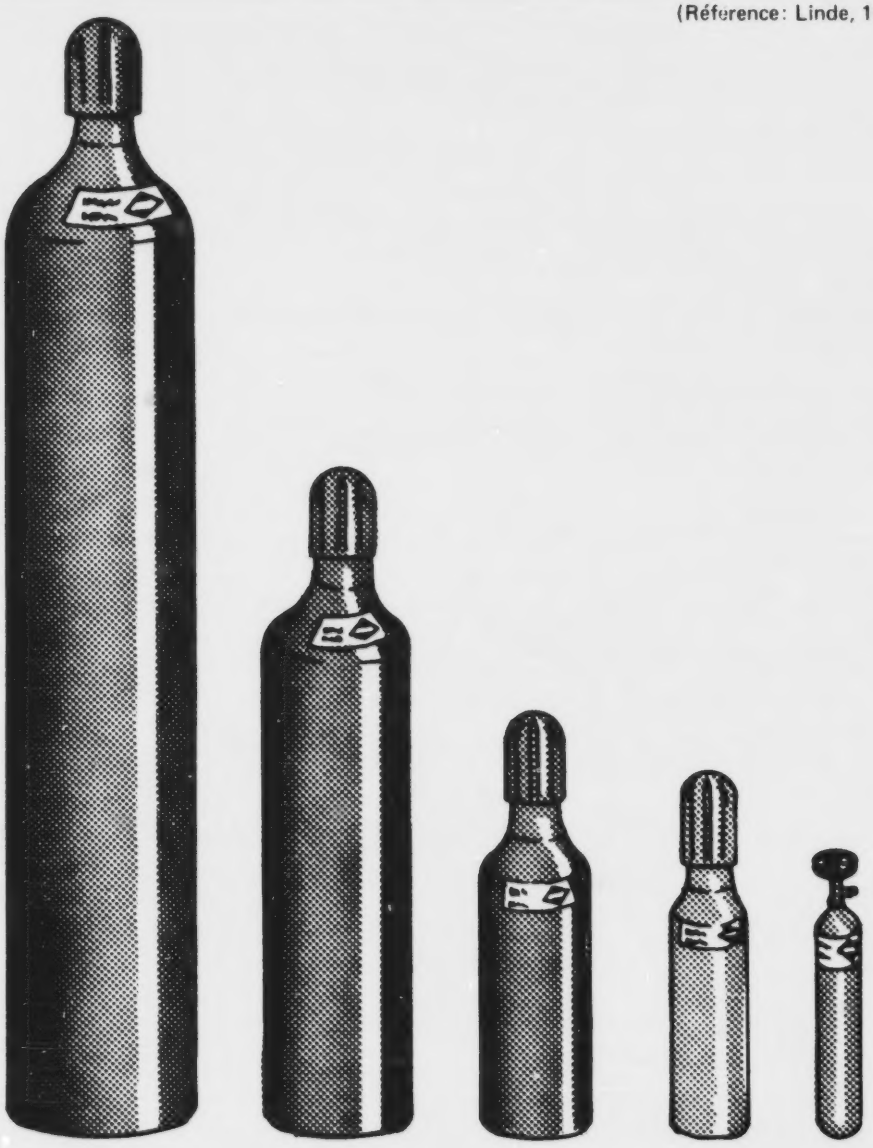
4.2.1 Matériel et procédés de déchargement pour les bouteilles. – Les directives suivantes s'appliquent pour la manipulation et l'entreposage des bouteilles de dioxyde de carbone.

Figure 8

DIOXYDE DE CARBONE

BOUTEILLES À GAZ

(Référence: Linde, 1981)



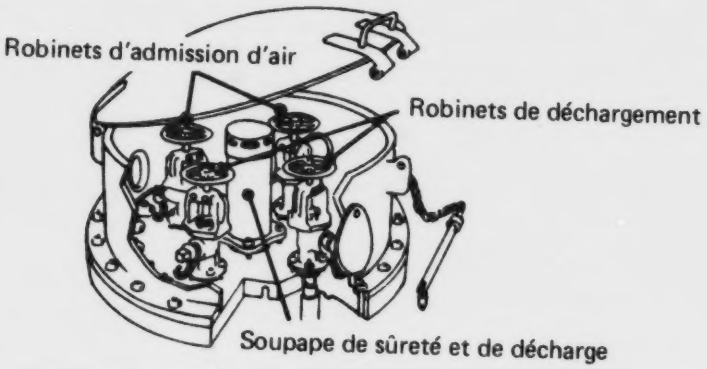
Classification de l'industrie		K	Q	G	F	LB
Dimensions (approx.)	(mm)	229×1320	178×787	152×508	102×432	51×330
	(po)	9×52	7×31	6×20	4×17	2×13
Poids à vide (approx.)	(kg)	60	29	13	5	1
	(lb)	132	65	29	10	4

DIOXYDE DE CARBONE

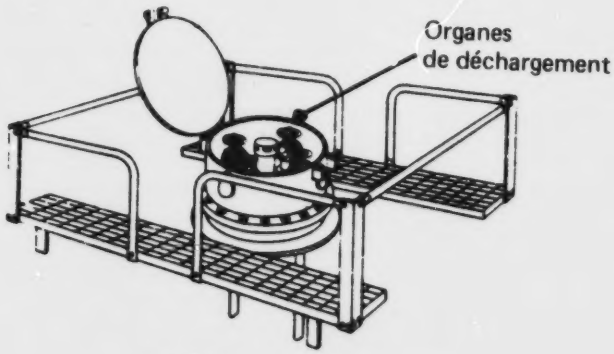
Figure 9

WAGON-CITERNE DE CLASSE 105A500W

(TCM, 1979; RTDCR, 1974)



Détail des organes de déchargement par le haut



Détail de la plate-forme de dôme

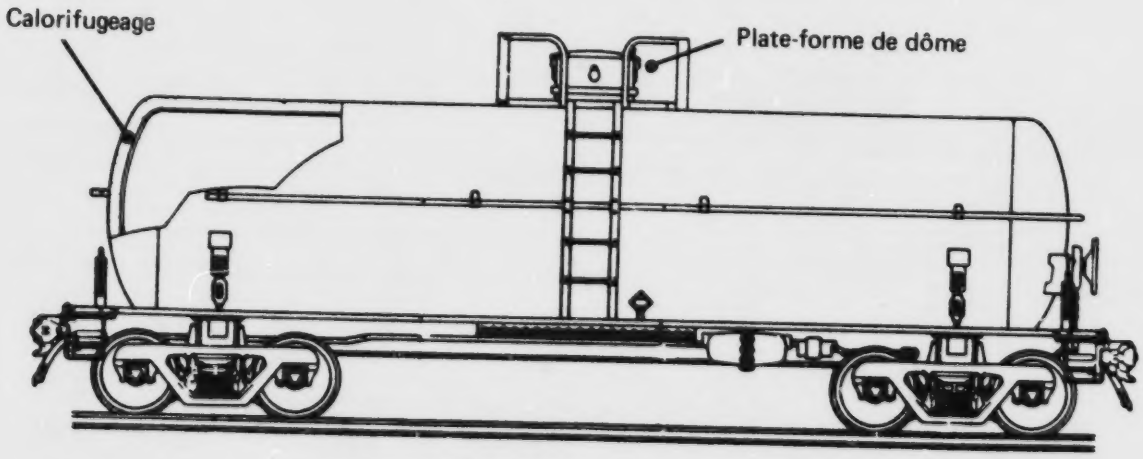


Schéma d'un wagon-citerne

- Les capots de protection des robinets doivent être en place.
- Les bouteilles ne doivent pas être entreposées à proximité d'un système de ventilation.
- Les bouteilles doivent être entreposées dans un endroit où les risques de corrosion sont minimes.
- Les bouteilles doivent être entreposées à la verticale, robinet en haut, et retenues par des chaînes.
- Les bouteilles pleines ne doivent pas être entreposées avec des bouteilles vides.
- Un raccord souple en cuivre devrait être utilisé pour relier la bouteille à la conduite de déchargement (HCG, 1981).

4.2.2 Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers. – Wagons-citernes et véhicules-citernes routiers sont en principe déchargés de la même façon. Il y a toutefois lieu d'observer les précautions suivantes:

- Le déchargement ne sera confié qu'à du personnel compétent.
- Les wagons doivent être déviés sur une voie de garage en impasse.
- Les freins doivent être serrés. Les roues des wagons doivent être calées. Des dérailleurs appropriés seront mis en place et les avertissements voulus doivent être affichés.
- Le poste de déchargement doit comporter un quai de service convenable.

Le déchargement du dioxyde de carbone peut se faire soit au moyen d'une pompe ou d'un compresseur (HCG, 1981).

Déchargement avec une pompe. Le dioxyde de carbone *à l'état liquide* est pompé par l'un des deux robinets d'équerre reliés à la phase liquide. *À l'état de gaz*, il est déchargé par les robinets d'équerre de la phase gazeuse.

Déchargement avec un compresseur. Du dioxyde de carbone comprimé est forcé dans la citerne par une conduite raccordée au creux du réservoir d'entreposage et le dioxyde de carbone *liquide* est évacué par une ligne de déchargement. La pression à l'intérieur du wagon-citerne ne doit *jamais* dépasser la pression de service de la soupape de sûreté.

4.2.3 Spécifications et matériaux de fabrication du matériel de déchargement. – Il est question dans la présente section des éléments d'un système ordinaire de déchargement du dioxyde de carbone anhydre, notamment des tuyaux et raccords, raccords souples, robinets, soupapes, joints, pompes et réservoirs d'entreposage.

Les tuyaux et raccords devraient être en tube d'acier fileté, série 80. L'acier inoxydable, le cuivre, le laiton ou l'acier au carbone sans soudure conviennent aussi. Si le dioxyde de carbone contient de l'eau, les tuyaux et raccords seront en acier inoxydable, en Hastelloy ou en Monel (GPD).

Les joints d'étanchéité des tuyaux doivent de préférence être du type à brides ou soudés. S'il est nécessaire d'utiliser des joints filetés, les filets doivent être propres et bien découpés pour assurer la parfaite étanchéité du joint. Les brides doivent être en acier forgé éprouvé à 900 kg (2000 lb) (HCG, 1981).

Des raccords souples consistant en une boucle de tuyau de cuivre doivent être utilisés pour relier les citernes aux conduites rigides de déchargement. On recommande à cet effet du tuyau pour tuyauterie d'eau, en cuivre recuit, sans soudure, conforme à la norme ASTM B88, épaisseur type K ou plus. Les connecteurs pour les wagons-citernes et véhicules-citernes peuvent être des tuyaux à haute pression ou une lyre de dilatation composée de coudes filetés.

Des robinets à tige montante et à filetage extérieur avec corps en fer noir, en acier au carbone façonné par marteau à chute ou encore en bronze, tige et organes internes en Monel ou en Hastelloy C, sont recommandés pour le dioxyde de carbone. On utilisera de préférence des presse-étoupe à boulons plutôt qu'à visser car les filets de ces derniers sont rapidement attaqués par la vapeur de dioxyde de carbone humide (HCG, 1981).

Les joints d'étanchéité en caoutchouc sont acceptables pour le dioxyde de carbone à l'état liquide ou gazeux, à condition que la température ne dépasse pas 60 °C (GFPS). Voir le tableau 6 pour les autres matériaux utilisables.

Une pompe centrifuge électromagnétique, chemisée en acier, avec parties immergées en acier au carbone, convient pour le dioxyde de carbone anhydre. Pour le dioxyde de carbone humide on utilisera une pompe avec parties immergées en acier inoxydable.

Le dioxyde de carbone est généralement entreposé dans des réservoirs en acier ou des récipients spéciaux sous pression dont la capacité peut atteindre 414 tonnes (CD, 1975). Les réservoirs de dimensions moyennes ont une capacité de 29 tonnes (CD, 1975).

Certains récipients calorifugés avec dispositifs de contrôle automatique, de réfrigération et de vaporisation sont livrés dans un boîtier en métal. Ces unités ont habituellement une capacité de 5 tonnes mais il en existe jusqu'à 90 tonnes (CSS).

4.3 Compatibilité entre le produit et différents matériaux de fabrication

La compatibilité entre le dioxyde de carbone et certains matériaux de fabrication est indiquée au tableau 6. Le système d'évaluation des matériaux est décrit brièvement ci-dessous.

Recommandé: Le matériau donnera un rendement satisfaisant pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; peut convenir pour l'utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: L'application indiquée causera une grave détérioration du matériau; son utilisation est donc déconseillée.

Tableau 6
Compatibilité entre le dioxyde de carbone et certains matériaux de fabrication

Utilisation	Produit		Recommandé	Réserves	Déconseillé
	État/teneur	Temp. (°C)			
1. Conduites et raccords	Gaz humide ou solution aqueuse	60	Chlorure de polyvinyle I Chlorure de polyvinyle II (DPPED, 1967)		
	Gaz	79	Chlorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
	Gaz	107	Polypropylène (DCRG, 1978)		
	Gaz	121	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
	Gaz	135	Fluorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
	Gaz	jusqu'à la limite permise pour le matériau	Chlorure de polyvinyle I Acrylonitrile-butadiène-styrène Polyéthylène (MWPP, 1978)		
2. Robinetterie		n'importe quelle température	Acier inoxydable 316 (JSSV, 1979)		
3. Autres	Sec, 100 %	60	Chlorure de polyvinyle non plastifié Polyéthylène Polypropylène Polyoxyméthylène Caoutchouc naturel Caoutchouc butadiène-acrylonitrile (Nitrile, Buna) Butylcaoutchouc Copolymère éthylène-propylène Polychloroprène (Néoprène) Caoutchouc fluoré (Viton) Polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon) (GFPS)		

Utilisation	Produit				
	État/teneur	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
	Toutes les formes humides	60	Polyéthylène Polypropylène Polyoxyméthylène Caoutchouc naturel Caoutchouc butadiène-acrylonitrile (Nitrile, Buna) Butylcaoutchouc Copolymère éthylène-propylène Polychloroprène (Néoprène) Caoutchouc fluoré (Viton) Polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon) (GFPS)	Chlorure de polyvinyle non plastifié (GFPS)	
	Humide ou sec	60	Chlorure de polyvinyle (TPS, 1978)		
	Humide ou sec	66	Polypropylène (TPS, 1978)		
	Sec, 100 %	80	Polypropylène Caoutchouc butadiène-acrylonitrile (Nitrile, Buna) Butylcaoutchouc Copolymère éthylène-propylène Polychloroprène (Néoprène) Caoutchouc fluoré (Viton) Polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon) (GFPS)	Polyéthylène Polyoxyméthylène	Chlorure de polyvinyle non plastifié Caoutchouc naturel (GFPS)
	Humide ou sec	85	Chlorure de polyvinyle chloré (TPS, 1978)		
	N'importe quel état, humide	100	Caoutchouc butadiène-acrylonitrile Butylcaoutchouc Copolymère éthylène-propylène Polychloroprène (Néoprène) Caoutchouc fluoré (Viton) Polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon) (GFPS)	Polyéthylène Polypropylène (GFPS)	Chlorure de polyvinyle non plastifié Polyoxyméthylène Caoutchouc naturel (GFPS)

Utilisation	Produit		Recommandé	Réserves	Déconseillé
	État/teneur	Temp. (°C)			
	Mouillé ou sec	121	Polyvinylidène fluoré (TPS, 1978) Styrène-butadiène (GR-S, Buna S) Silicone (GPP)		
	100 %	24-371	Verre (CDS, 1967)		
	100 %	52	Béton Bois (CDS, 1967)		

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

En cas de déversement de dioxyde de carbone liquéfié, il est probable que le produit se solidifiera une fois au sol. Conséquemment, la migration du produit dans le sol ou son absorption par le sol devraient être minimes. Qu'il soit à l'état solide ou liquide, le produit s'évapore rapidement et il est peu probable qu'il atteigne la nappe phréatique. On n'a donc pas jugé utile de préparer de nomogrammes pour la migration du produit dans le sol.

Advenant qu'un récipient contenant du dioxyde de carbone liquéfié soit perforé dans le bas, la solidification du produit à l'endroit de la brèche devrait considérablement en ralentir la fuite. D'autre part, si la perforation se trouvait au-dessus du niveau du liquide, le refroidissement par évaporation consécutif à la libération soudaine du gaz peut solidifier le contenu. Dans ce cas, le taux d'évaporation (ou plutôt de sublimation) sera beaucoup plus lent que si le produit était à l'état liquide. Alliés à des facteurs environnementaux, ces effets devraient en principe se traduire par des débits de fuite inférieurs à ceux donnés dans la section qui suit. Par exemple, les débits de fuite calculés pourraient être dix fois moins élevés que prévus advenant un déversement par temps froid et que le calorifugeage de la citerne n'a pas été endommagé outre mesure. Ces débits pourraient aussi être inférieurs de deux à trois ordres de grandeur aux débits calculés si le produit, en se solidifiant, obstrue la brèche. Quelles que soient les conditions, les nomogrammes ont été établis en fonction du pire cas envisageable.

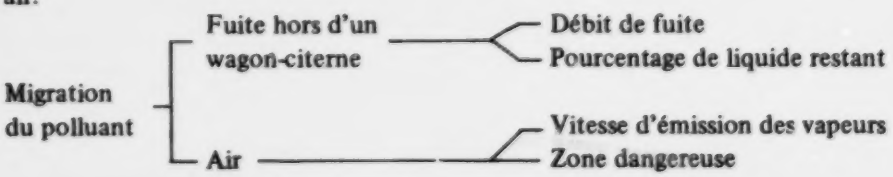
Le dioxyde de carbone liquéfié a la propriété de se transformer, au contact de l'air, en un produit solide ayant l'aspect de la neige, communément appelé «neige carbonique». La neige carbonique est une forme solide beaucoup plus aérée que la glace sèche qui désigne le dioxyde de carbone commercialisé à l'état solide. Les gaz libérés tant par la neige carbonique que par la glace sèche sont surtout attribuables à la sublimation du produit, c.-à-d. son passage direct de l'état solide à l'état gazeux. Il est très rare que du dioxyde de carbone liquéfié demeure dans cet état lors d'un déversement.

Si du dioxyde de carbone venait à se déverser dans l'eau, il est probable que le produit atteindra l'eau sous la forme solide ou qu'il s'évaporera rapidement en ne laissant qu'un peu de résidus solides, conséquence du refroidissement par évaporation. Le produit solide s'évaporera en partie et le reste devrait se dissoudre dans l'eau. Ce comportement étant très difficile à modéliser, aucun nomogramme n'a été préparé.

Lors d'un déversement de dioxyde de carbone, les panaches de vapeur ne seront visibles qu'à condition que la vapeur qui se dégage soit suffisamment froide pour condenser l'humidité de l'air et former un brouillard. C'est ce qui se produirait advenant le déversement de grandes quantités de dioxyde de carbone liquéfié ou solide et dans les cas d'humidité relative élevée.

La vapeur de dioxyde de carbone est plus lourde que l'air si bien que le nuage de vapeur se déplacera au ras du sol en déplaçant l'air si les conditions physiques de mélange ne sont pas remplies.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a migration de dioxyde de carbone dans l'air.



5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. – Le dioxyde de carbone est ordinairement transporté à l'état de gaz liquéfié, dans des wagons-citernes. Comme la capacité de ces derniers varie beaucoup, nous avons retenu un modèle en particulier pour établir les nomogrammes de fuite de Enviroguide. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m et une contenance de 80 000 l environ.

Dans le pire cas envisageable, si une citerne remplie à capacité de dioxyde de carbone liquéfié venait à être perforée dans le fond, la totalité du produit s'échapperait théoriquement par gravité. Comme nous l'avons vu précédemment, le produit se solidifiera vraisemblablement au contact de l'air si bien que le débit de fuite devrait être ralenti dans certains cas voire nul si le solide obstruait complètement la brèche.

En cas de perforation sur le dessus de la citerne ou tout au moins au-dessus du niveau du liquide, on suppose que du gaz s'échappera tant que le liquide ne s'est pas tout vaporisé et jusqu'à ce que les pressions interne et externe se soient égalisées. Pour les besoins des nomogrammes, il a été supposé que le liquide conserve une température constante égale à la température ambiante. Le débit de fuite demeure donc constant jusqu'à ce que tout le liquide se soit vaporisé. Il a été supposé que la température ambiante était de - 23 °C, ce qui donne une pression de vapeur saturante de 2200 kPa. Cette pression est presque égale à celle des détendeurs montés sur les wagons-citernes normalement utilisés pour le transport du dioxyde de carbone. En posant l'hypothèse de conditions isothermiques, on maximise le débit de fuite du gaz et l'on obtient des valeurs qui correspondent aux scénarios les plus pessimistes. Tel que précédemment mentionné, divers facteurs peuvent contribuer à ralentir le débit de fuite.

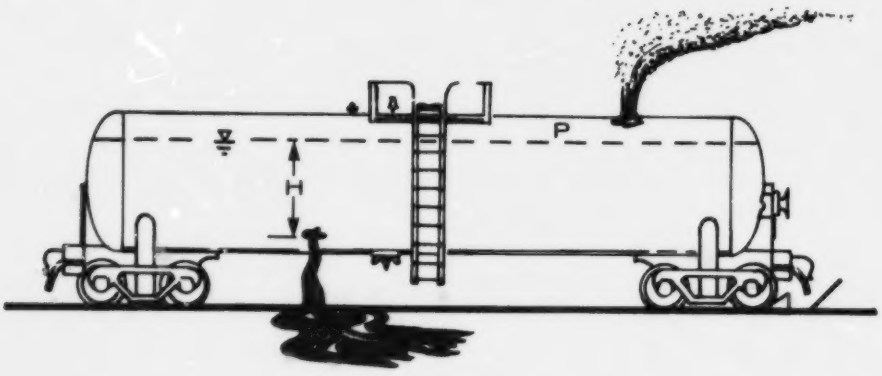


FIGURE 10 **WAGON-CITERNE PERFORÉ DANS LE BAS OU SUR LE DESSUS**

5.2.2 Nomogrammes relatifs aux fuites

5.2.2.1 Perforation dans le bas

Pourcentage de liquide restant en fonction du temps. – La figure 11 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne type a 2,75 mètres de diamètre et 13,4 mètres de longueur, qu'il contient 80 000 litres de dioxyde de carbone à - 23 °C et qu'il est plein au moment du bris. Le volume de liquide restant, après un temps d'écoulement donné *t*, n'est pas seulement fonction du débit de fuite mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

Débit de fuite du liquide en fonction du diamètre de l'orifice. – La figure 12 permet d'évaluer le débit de fuite en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres. Comme la force de la pression de vapeur est supérieure à la force de pesanteur, le débit de fuite demeure relativement constant à mesure que le wagon-citerne se vide.

5.2.2.2 Perforation sur le dessus; fuite de gaz

Pourcentage de dioxyde de carbone restant en fonction du temps d'émission. – La figure 13 permet d'évaluer le pourcentage de dioxyde de carbone restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes les formes. Comme on a supposé des conditions isothermiques, la pression interne et le débit de fuite sont constants.

Débit de fuite du gaz en fonction du diamètre de l'orifice. – La figure 14 permet d'évaluer le débit de fuite pour des diamètres équivalents donnés. Pour tout diamètre de l'orifice, le débit de fuite est supposé constant jusqu'à ce que tout le liquide se soit vaporisé, ce qui est conforme à l'hypothèse posée relativement aux conditions isothermiques à l'intérieur de la citerne; il s'ensuit une évaluation modérée du débit de fuite. Les valeurs indiquées à la figure 14 sont indépendantes de la taille du wagon-citerne, mais elles supposent une température du liquide de - 23 °C et une pression de vapeur saturante de 2200 kPa.

5.2.3 Exemples du calcul

PROBLÈME A

Il y a eu perforation, dans le bas, d'un wagon-citerne standard (diamètre: 2,75 m; longueur: 13,4 m) rempli de dioxyde de carbone à - 23 °C. Le diamètre équivalent de l'orifice est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 0,7 minute et quel est le débit instantané?

Solution

Étape 1 Calcul du volume de liquide restant.

Se servir de la figure 11.

Si t = 0,7 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant est d'environ 42 000 litres soit 53 p. 100.

Étape 2 Calcul du débit-volume de fuite.

Se servir de la figure 12.

Si D = 150 mm, le débit instantané = 900 l/s.

Figure 11

DIOXYDE DE CARBONE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT/ TEMPS D'ÉCOULEMENT

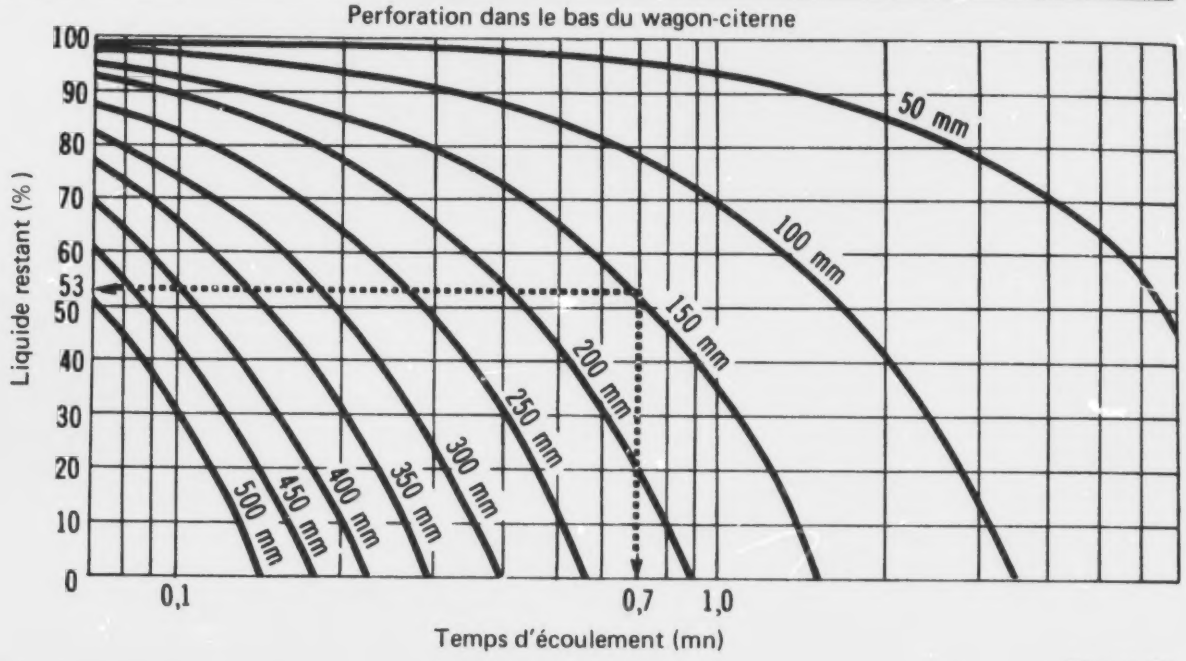
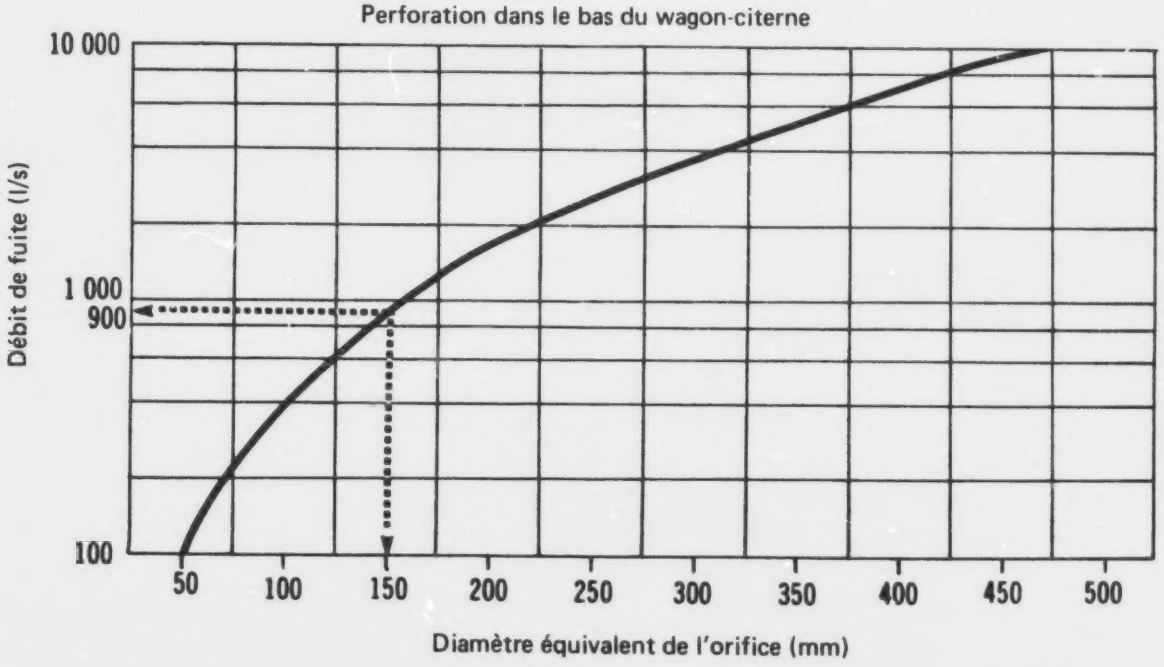


Figure 12

DIOXYDE DE CARBONE

DEBIT DE FUITE/DIAMÈTRE DE L'ORIFICE



PROBLÈME B

La citerne normalisée du problème A a été perforée au-dessus du niveau du liquide. Le diamètre équivalent de l'orifice est estimé à 250 mm. Combien de temps faudra-t-il pour que la citerne se vide et quel est le débit de fuite dans l'hypothèse de conditions isothermiques?

Solution

Étape 1 Calcul de la durée du vidage.

Se servir de la figure 13.

Si D = 250 mm, la citerne se vide en 5 minutes environ.

Étape 2 Calcul du débit-masse de fuite.

Se servir de la figure 14.

Si D = 250 mm et si la température est constante à - 23 °C (voir 5.2.1), le débit instantané est invariable à 250 kg/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. – Le dioxyde de carbone liquéfié transporté dans une citerne sous pression est extrêmement volatil. S'il se déverse sur le sol, la vaporisation est si rapide qu'on la considère «instantanée». Pour désigner cette émission subite, on parle de bouffée. On devrait observer le même phénomène avec le produit solide qui normalement se forme lorsque du dioxyde de carbone liquéfié entre en contact avec l'air, puisque au départ le solide se sublimera rapidement. C'est le seul type d'émission de dioxyde de carbone dans l'atmosphère dont il sera question dans les paragraphes qui suivent.

Pour évaluer les teneurs en vapeurs du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) des vapeurs dans l'atmosphère. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein de la bouffée; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le Manuel d'introduction Enviroguide.)

La figure 15 schématise la diffusion d'une bouffée émise par un point source. Le modèle de diffusion réduit la nappe de liquide déversé à un point source instantané dont l'émission est égale à la quantité totale de liquide déversé.

Il est à noter qu'un nuage de vapeurs de dioxyde de carbone émanant d'une nappe de dioxyde de carbone froid se comporte comme une masse de gaz plus lourd que l'air (1,5 fois la masse volumique de l'air à 20 °C) parce que ces vapeurs sont froides. Aussi est-il possible que dans les minutes qui suivent le déversement on observe des vapeurs au ras du sol, concentrées en particulier dans les dépressions. La modélisation classique basée sur les formules de Gauss tend à présenter les bouffées de gaz plus lourds que l'air plus étroites qu'elles ne le sont en réalité.

5.3.2 Nomogrammes de diffusion de la bouffée de vapeurs. – Les nomogrammes de diffusion atmosphérique servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité. Les figures et tableaux présentés ci-dessous apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

Tableau 7 Conditions météorologiques (catégories de stabilité)

Figure 18 Teneur uniformisée en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories de conditions météorologiques

Tableau 8 Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse

Figure 19 Distance parcourue par la bouffée, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses de vent

Figure 13

DIOXYDE DE CARBONE

POURCENTAGE DE DIOXYDE DE CARBONE RESTANT/ TEMPS D'ÉMISSION

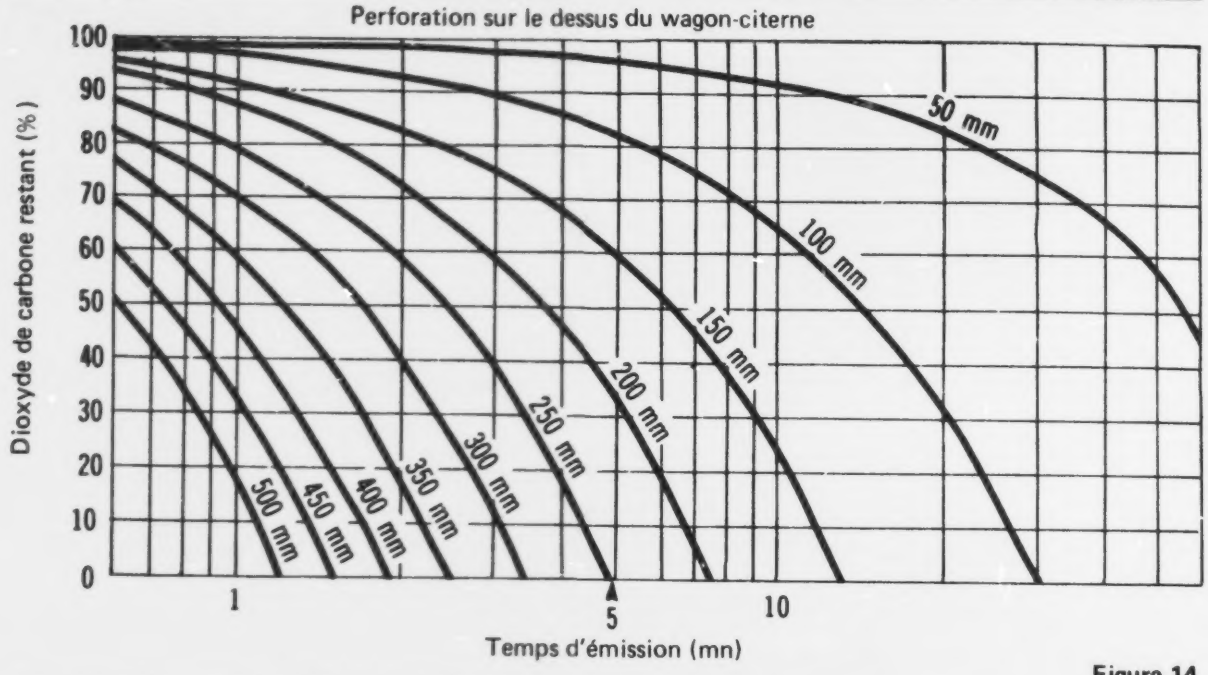


Figure 14

DIOXYDE DE CARBONE

DÉBIT DE FUITE/DIAMÈTRE DE L'ORIFICE

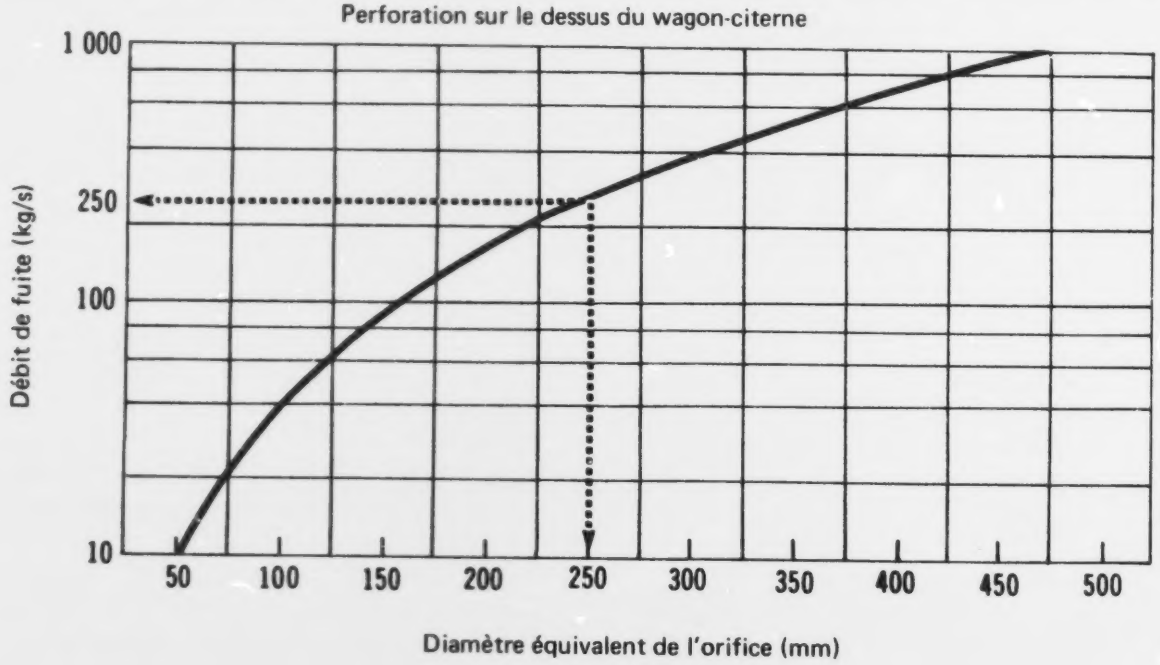
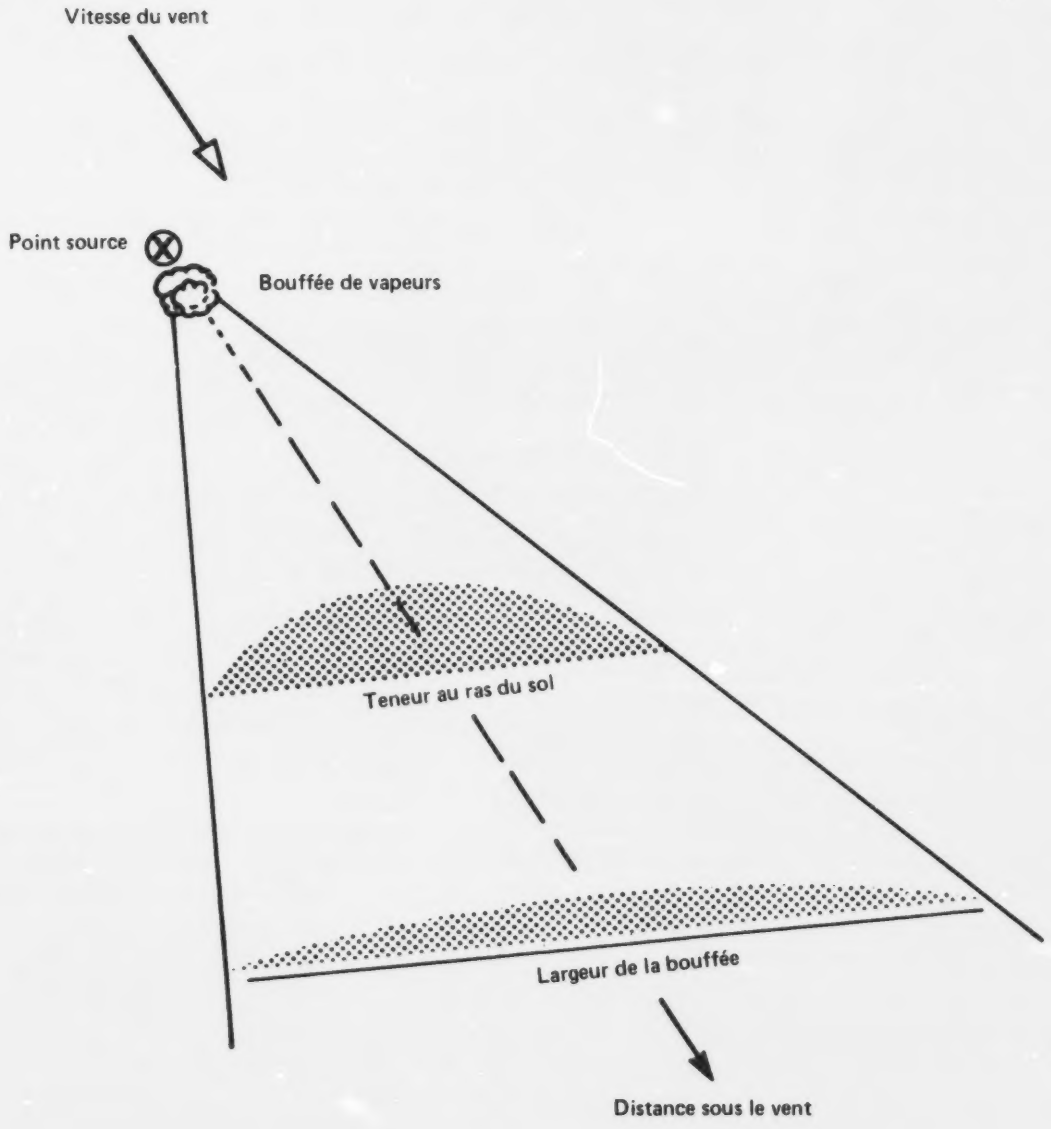


Figure 15

DIOXYDE DE CARBONE — **FORMATION D'UNE BOUFFÉE DE VAPEURS**



La figure 16 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé figurent à la section 5.2.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. – La figure 17 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluant, sous forme de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories D et F de conditions (météorologiques) de stabilité. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le Manuel d'introduction Enviroguide. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée au niveau du sol le long de la médiane de la bouffée schématisée. La catégorie F est la moins propice à la diffusion de la bouffée; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 7) avant d'utiliser la figure 17.

Tableau 7
Conditions météorologiques (catégories de stabilité)

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (~ 3 m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	Valable pour toutes les autres conditions.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent x peut être déterminée à l'aide de la figure 16, si l'on possède les données suivantes:
Masse de vapeurs émise (m_e) (= masse de liquide déversé)
Vitesse du vent u, en m/s;
Catégorie de conditions (météorologiques) de stabilité;
Teneur T dangereuse limite, soit 10 fois la *Threshold Limit Value*® (g/m^3). (Pour convertir en g/m^3 la TLV®, utiliser la figure 18.)

Une teneur dangereuse limite, égale à 10 x TLV®, a été choisie de façon arbitraire; elle représente une limite «relativement réaliste» au-delà de laquelle une exposition de courte durée (30 minutes) présente un danger pour la santé. La TLV® est une norme d'exposition de longue durée sur les lieux de travail. Si elle était utilisée comme teneur limite dangereuse, la zone dangereuse atteindrait des proportions démesurées.

5.3.2.2 Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse. – Le tableau 8 présente des valeurs de la demi-largeur maximale de la bouffée (L/2)max. pour une plage de valeur m_e, en fonction des catégories de stabilité D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles

Figure 16

DIOXYDE DE CARBONE — **ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE**

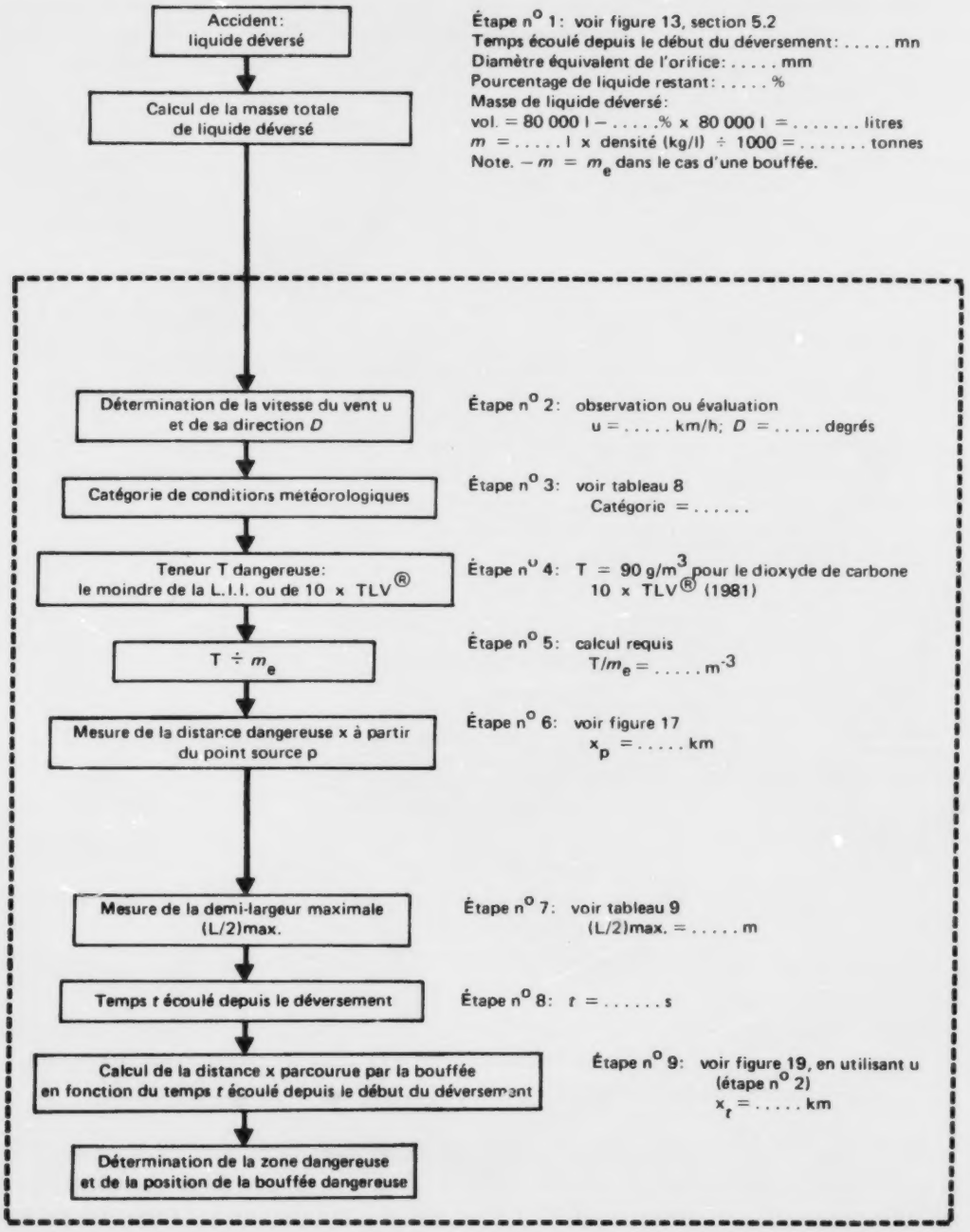


Figure 17

DIOXYDE DE CARBONE

TENEUR UNIFORMISÉE EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT

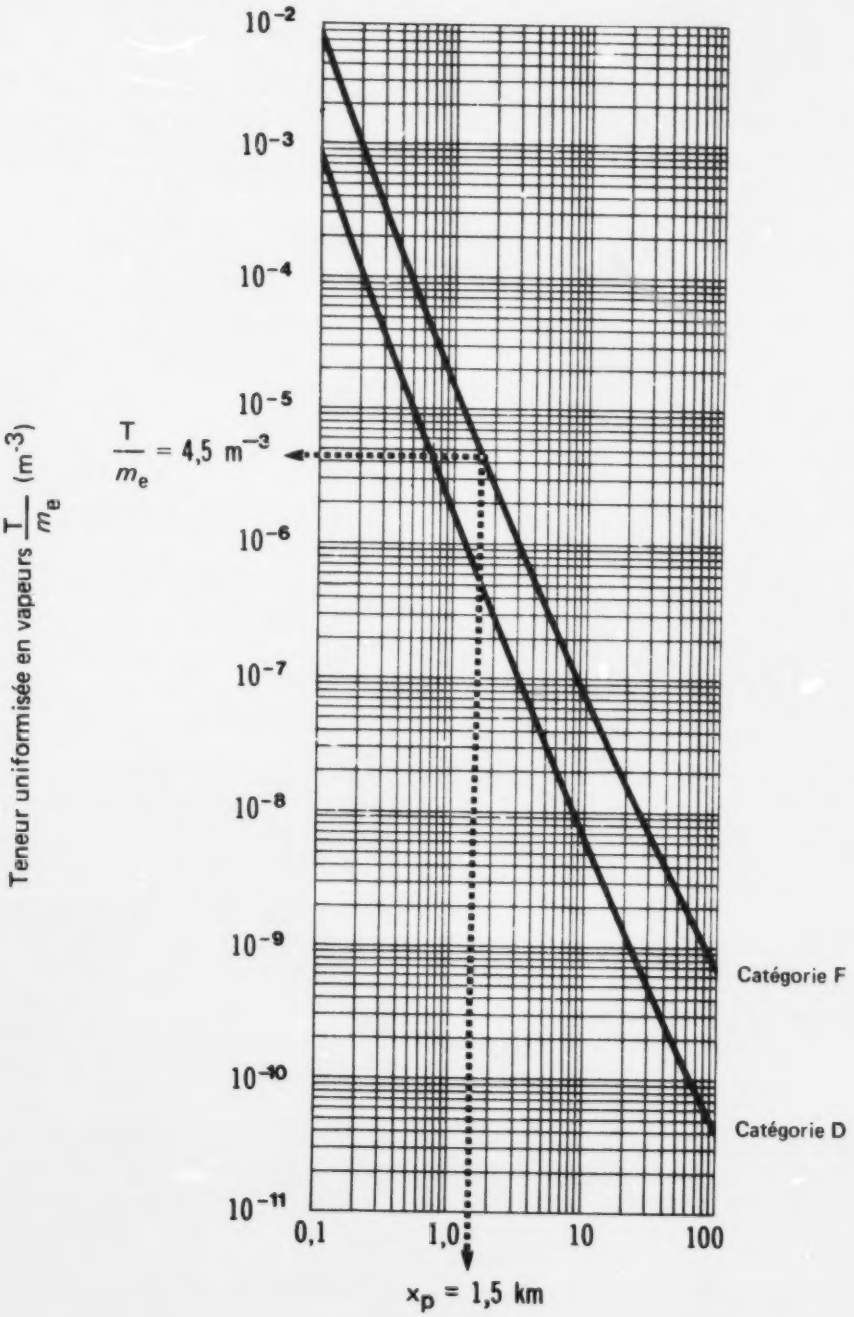
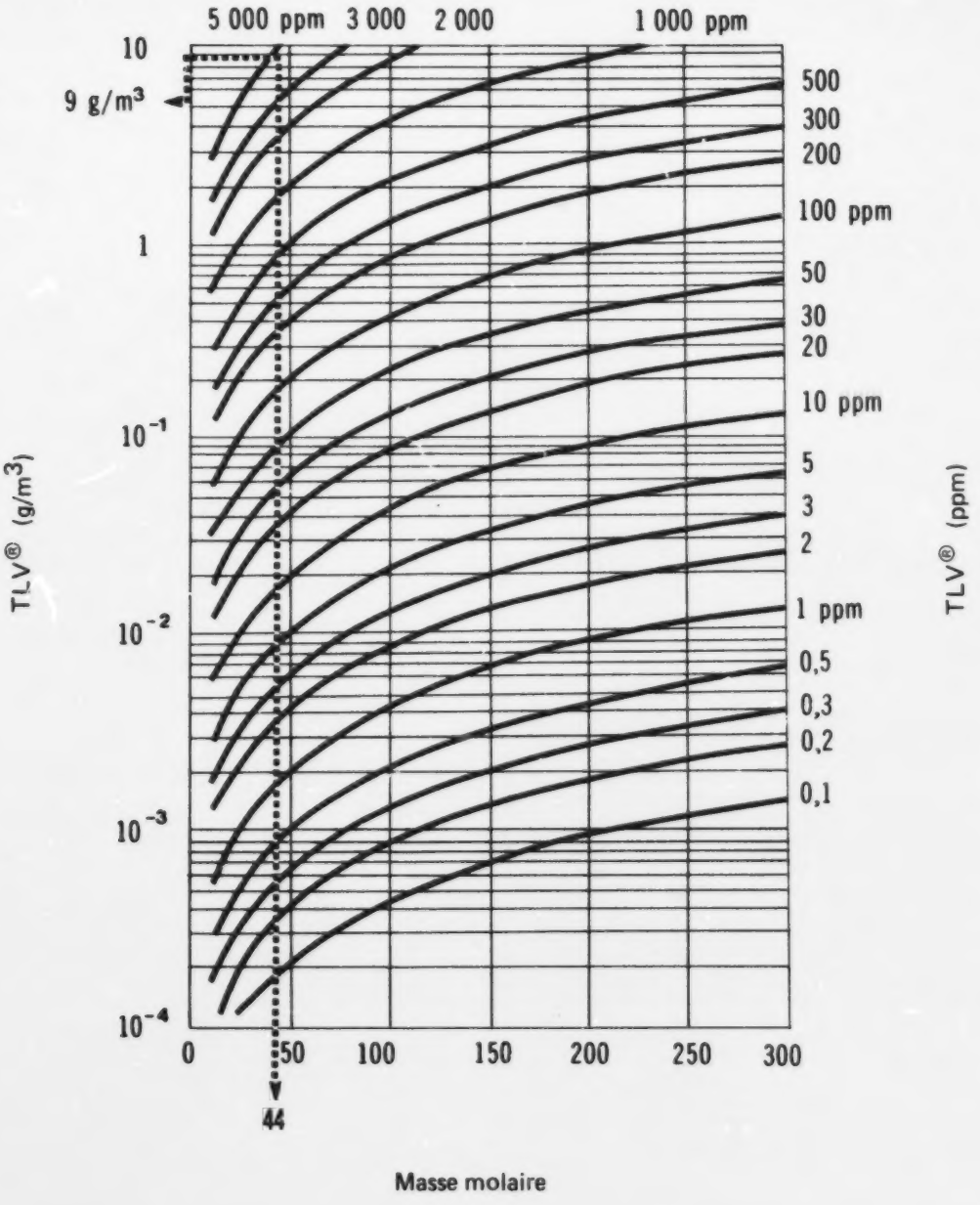


Figure 18

DIOXYDE DE CARBONE — **CONVERSION EN g/m³ DE LA TLV®**



Masse molaire = 44; TLV® = 5000 ppm = 9 g/m³
Remarque: Données valables pour une température de 25 °C et une pression de 101,3 kPa

Tableau 8
Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse
(pour le dioxyde de carbone)

Catégorie de stabilité D			Catégorie de stabilité F		
Vapeurs émises (tonnes)	(L/2)max. (mètres)		Vapeurs émises (tonnes)	(L/2)max. (mètres)	
2 750 000	3 950	(97,2 km)*	135 000	1 860	(99,5 km)*
2 500 000	3 810		125 000	1 800	
2 000 000	3 500		100 000	1 640	
1 500 000	3 130		75 000	1 450	
1 000 000	2 680		50 000	1 220	
750 000	2 400		25 000	905	
500 000	2 060		10 000	610	
400 000	1 890		5 000	455	
300 000	1 690		2 500	350	
200 000	1 450		1 000	245	
150 000	1 300		500	185	
100 000	1 110		250	140	
75 000	1 000		100	100	
50 000	850		50	75	
25 000	660		25	60	
10 000	475		20	55	
5 000	365	m_e = 20 tonnes →	10	45	→ (L/2)max. = 55 m
1 000	200		5	35	
500	155		1	20	
250	120				
100	85				
50	70				
25	55				
20	50				
10	40				
5	30				
1	20				

* Ces données sont fournies pour une distance maximale dangereuse sous le vent atteignant jusqu'à 30 km.
Exemple. – Pour une masse de 20 tonnes de vapeurs émises et des conditions météorologiques F, la demi-largeur de la bouffée dangereuse (L/2)max. est de 53 m.
Remarque. – Les données ci-dessus valent seulement pour une teneur en dioxyde de carbone égale à 10 x la TLV®, soit 90 g/m^3.

de diffusion expliqués dans le Manuel d'introduction Enviroguide, en supposant une teneur dangereuse limite (ce qu'on appelle communément une teneur maximale admissible) égale à 10 fois la TLV® attribuée au dioxyde de carbone (soit 10 x 9,0 g/m^3 ou 90 g/m^3). La demi-largeur de la bouffée dangereuse représente la demi-largeur du nuage de vapeurs de dioxyde de carbone, situé du côté sous le vent et atteignant une teneur égale à 10 x TLV® . Le tableau 8 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite de 90 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 kilomètres.

Dans les catégories de stabilité D, la plage de vitesse du vent s'étend de 1 à 30 m/s. Par ailleurs, l'éventail de masses de vapeurs émises, dans le tableau 8, va de 1 tonne à 2 750 000 tonnes. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) d'un wagon-citerne était déversé, cela représenterait une masse de 88 000 kg (env. 88 t). Le tableau 8, pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses 31 000 fois plus considérables, ce qui permet d'établir des modèles de diffusion pour la plupart des déversements.

Dans les catégories de stabilité F, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 3 m/s. Le tableau 8 comporte un éventail de masses de vapeurs émises qui va de 1 tonne à 135 000 tonnes pour des conditions de catégorie F. Ainsi, pour la catégorie F, le tableau 8 fournit des chiffres calculés en fonction de masses représentant jusqu'à 1500 fois le poids utile d'un wagon-citerne standard.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La masse de vapeurs émises étant connue, de même que la catégorie de stabilité, choisir la valeur la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante. Pour déterminer cette valeur avec une plus grande précision, interpoler m_e et (L/2)max. (Voir aussi l'exemple qui accompagne le tableau 8.)

5.3.2.3 Distance parcourue par la bouffée, en fonction du temps écoulé. – La figure 19 indique la distance x parcourue par la bouffée après un temps t de déplacement pour une vitesse de vent u donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent courantes.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La vitesse du vent u et le temps t de déplacement de la bouffée étant connus, la distance x_t parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

5.3.3 Exemple de calcul. – L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse du côté sous le vent du lieu où se produit un déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur se serve de données connues ou observables.

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes de dioxyde de carbone liquide ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminer la zone de vapeurs dangereuse.

ÉTAPES DE CALCUL

Étape 1 La masse m de liquide déversé est de 20 tonnes.

Étape 2 Déterminer la vitesse u du vent et sa direction.
Si u = 7,5 km/h, u = 7,5 ÷ 3,6 = 2,1 m/s.
Direction = N.-O. ou 315° (d'où souffle le vent).

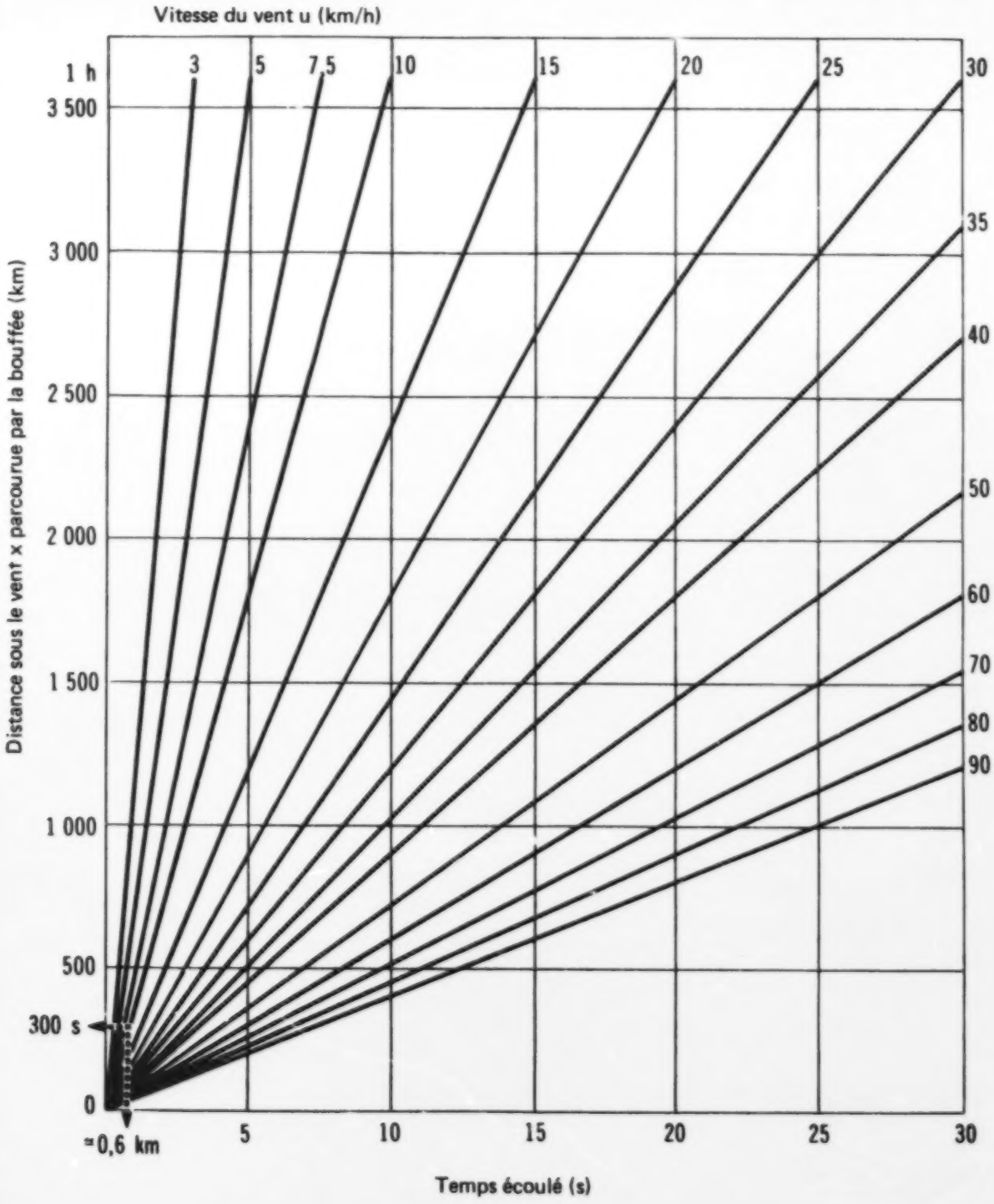
Étape 3 Déterminer la catégorie de stabilité (tableau 8).
Si u < 11 km/h et s'il fait nuit, catégorie = F.

Étape 4 Déterminer la teneur T dangereuse limite.
10 x TLV® dans le cas présent.
T = 10 x TLV® = 9,0 g/m^3

Figure 19

DIOXYDE DE CARBONE

DISTANCE PARCOURUE PAR LA BOUFFÉE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



Étape 5 Calculer T/m_e

$$m_e = \frac{90}{2 \times 10^7} = 4{,}5 \times 10^{-6}\ m^3$$

Étape 6 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p de la bouffée.

Voir figure 17. Pour une catégorie F de conditions météorologiques:

Si $T/m_e = 4{,}5 \times 10^{-6}\ m^{-3}$, $x \simeq 1{,}5$ km.

Étape 7 Calculer la demi-largeur maximale (L/2)max. de la bouffée dangereuse.

Se servir du tableau 8. La masse de vapeurs émises étant de 20 tonnes, pour la catégorie de stabilité F, (L/2)max. = 55 m.

Étape 8 Déterminer le temps écoulé depuis le début du déversement.

$t = 5$ mn $\times$ 60 = 300 s.

Étape 9 Calculer la distance sous le vent x parcourue par la bouffée depuis le début du déversement.

Se servir de la figure 19. Si $t = 300$ s et u = 7,5 km/h, $x_t = 0{,}6$ km (plus précisément: $x_t = ut = 2{,}1$ m/s $\times$ 300 s = 630 m = 0,63 km).

Étape 10 Schématiser la zone dangereuse.

Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse (55 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir du point source (1,5 km) et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 20).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°), le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 21.

Note. – Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, la bouffée a franchi seulement 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 71 minutes avant que la bouffée franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 1,5 km.

Figure 20

DIOXYDE DE CARBONE — **ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE EXEMPLE DE PROBLÈME**

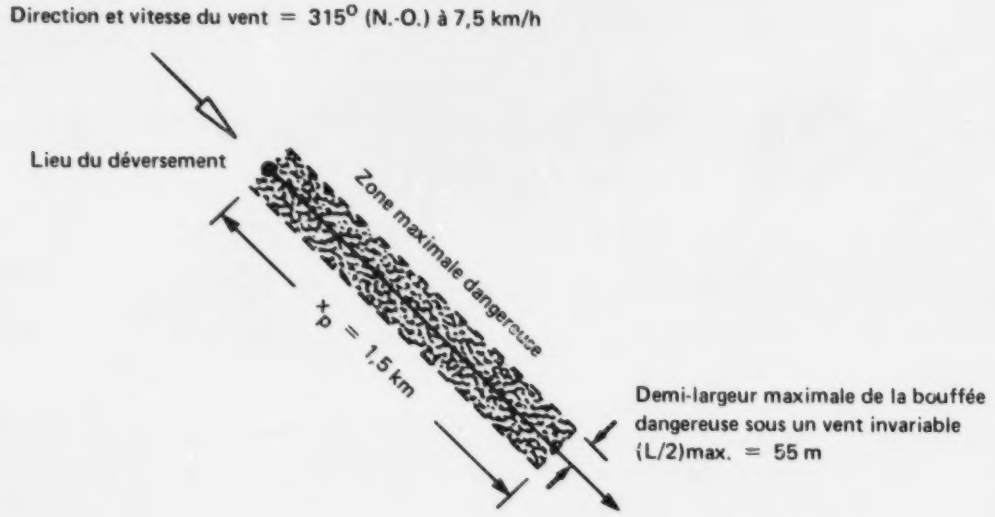
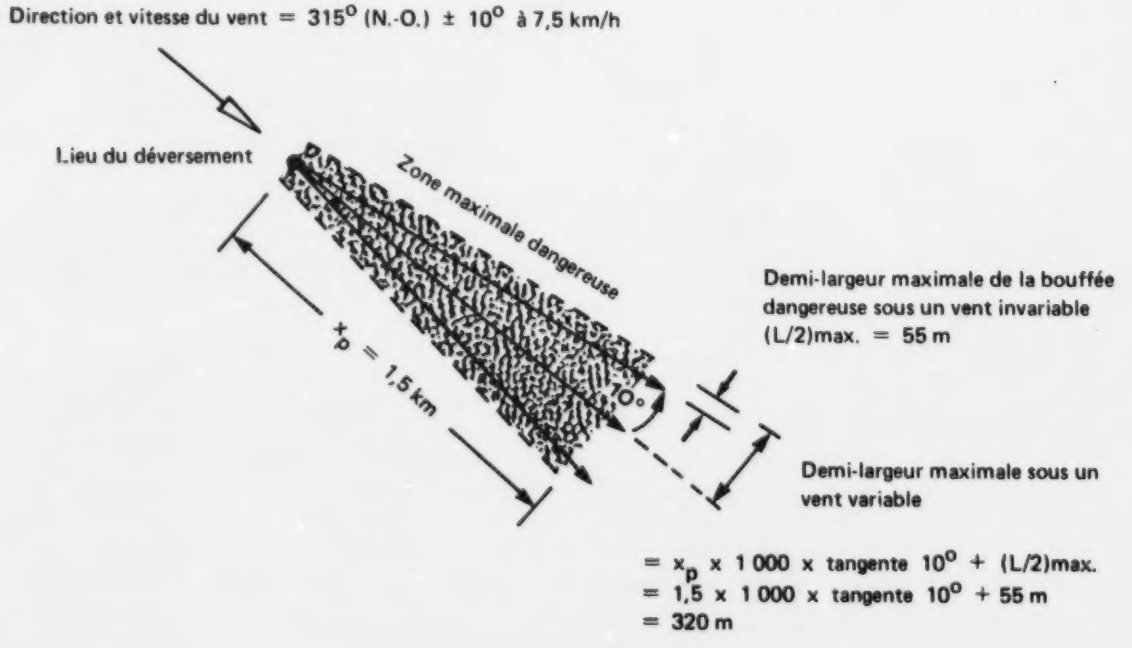


Figure 21

DIOXYDE DE CARBONE — **ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE EXEMPLE DE PROBLÈME**



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau. – Aucune recommandation. Les normes fixées pour le pH ou l'alcalinité limitent indirectement la teneur de l'eau en dioxyde de carbone; l'objectif visé par l'Ontario est un pH de 6,5 à 8,5 (Objectifs de gestion de l'eau, 1978).

6.1.2 Qualité de l'air. – Aucune limite précise n'a été fixée ou recommandée au Canada ou aux États-Unis.

6.2 Toxicité pour le milieu aquatique

6.2.1 Situation aux États-Unis. – Aucune cote de toxicité n'a été déterminée.

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
45	Inconnue	Truite	Mort		WQC, 1963
200	Inconnue	Tanche	Mort		WQC, 1963
100 à 200	Courte	Inconnue	Mort	Eau bien oxygénée	WQC, 1963
50 à 100	Inconnue	Inconnue	Mort	Oxygène insuffisant	WQC, 1963
< 20	Inconnue	Inconnue	Nocif		WQC, 1963
1 à 6	Inconnue	Inconnue		Comportement d'évitement	WQC, 1963
12 (moyenne annuelle)	Inconnue	Inconnue	Survie improbable		WQC, 1963
60	Inconnue	Truite	Toxique mais pas mortel	Faible teneur en O_2	WQCDB-2, 1971
240	1	Truite	Mort		WQCDB-2, 1971
60 à 240	12	Truite arc-en-ciel	Mort		WQCDB-2, 1971
35	96	Truite arc-en-ciel	Seuil létal		WQCDB-2, 1973

Toxicité pour les micro-organismes

De l'eau saturée en dioxyde de carbone n'a pas montré d'action bactéricide sur *E. Coli* et *E. Typhosa*, en 40 minutes (WQC, 1963).

Toxicité pour les insectes

Les mouches des fruits (*Drosophila melanogaster*) exposées à du dioxyde de carbone ont été temporairement paralysées. La paralysie a disparu au bout de 4 heures (Clark, 1979).

Toxicité pour la volaille

Aucun effet nocif n'a été observé chez des poulets à qui l'on avait donné de l'eau à forte teneur en dioxyde de carbone (WQC, 1963).

Toxicité pour l'avifaune

Des oiseaux aquatiques ayant inhalé de l'air contenant 5 p. 100 à 8 p. 100 de CO_2 pendant 96 heures n'ont aucunement parus affectés (ERM, 1982)

Toxicité pour les plantes

Le dioxyde de carbone est parfois utilisé pour accélérer la croissance des plantes cultivées en serre. Dans une étude où la teneur de l'air en CO_2 a été doublée, l'activité photosynthétique a augmenté de 30 à 40 p. 100. Une autre étude signale une augmentation de 50 p. 100 de l'activité photosynthétique du maïs après avoir doublé les teneurs de l'air en CO_2. La même observation a été trouvée dans un autre travail qui signalait en plus une activité photosynthétique accrue également de 50 p. 100 pour le blé et le soja après avoir triplé la teneur de l'air en CO_2. Dans de nombreuses expériences conduites sur diverses variétés de pins, des teneurs en CO_2 trois à cinq fois supérieures aux teneurs atmosphériques normales, qui s'échelonnent entre 300 et 700 ppm, ont généralement eu pour effet d'accroître de 30 à 40 p. 100 la croissance des plants. Les effets à long terme d'un tel traitement n'ont pas été étudiés (MacDonald, 1982).

Il faut que les stomates des feuilles soient largement ouverts pour que le CO_2 puisse pénétrer dans les tissus. Dans les conditions qui normalement règnent en été, l'air des stomates contient 100 molécules d'eau pour une molécule de CO_2. C'est dire que toute augmentation du CO_2 entraîne une déperdition d'eau 100 fois supérieure. On croit cependant que lorsque les teneurs de l'air en CO_2 augmentent, le degré d'ouverture des stomates diminue pour compenser cet effet. Il a été démontré dans une étude que lorsque la teneur en CO_2 était doublée, la photosynthèse augmentait de 40 p. 100, alors que la transpiration d'eau diminuait de 40 p. 100 (MacDonald, 1982).

6.3 Études sur les effets toxiques

Eddy a placé une truite arc-en-ciel dans de l'eau contenant des teneurs élevées en CO_2 (température de l'eau: 20 °C, pression partielle d'O_2: 15 mm Hg). On a constaté une diminution marquée du pH du sang chez le sujet lorsqu'il fut introduit dans le bain d'essai, effet qui nuisait considérablement au transport de l'O_2 par le sang. Après quelques heures cependant, on notait un retour du pH à une valeur presque normale. Les analyses faites après que la truite eut séjourné quelques semaines dans de l'eau à teneur élevée en CO_2 indiquent des taux élevés pour les bicarbonates plasmatiques et le CO_2 plasmatique et une diminution des chlorures plasmatiques. Le transport de l'oxygène par le sang était pratiquement normal. Dès que la truite fut replacée dans de l'eau non saturée en CO_2, il y eut une nette élévation du pH sanguin, accompagnée d'une nette diminution de la pression partielle d'oxygène dans le sang. Après quelques heures, ces valeurs étaient à nouveau normales. Il a fallu un peu plus de temps pour que les taux de bicarbonates plasmatiques et de chlorures plasmatiques reviennent à la normale (Eddy, 1976; Eddy, 1977).

Lors d'une autre expérience, de jeunes saumons nerka ont été placés dans de l'eau saturée en CO_2 gazeux à des teneurs mortelles (saturation totale, air + CO_2: 120, 125 et 130 p. 100). La teneur de l'eau en CO_2 (qui variait de 1,7 mg à 220 mg par litre) n'a pas eu une influence significative sur la mortalité. Celle-ci a été attribuée principalement à une embolie gazeuse consécutive à la saturation totale de l'eau (Nebeker, 1976).

La réaction d'anchois à des changements brusques de pH a été étudiée. Le changement de pH était provoqué en augmentant les teneurs de l'eau en CO_2. Ce n'est qu'à partir des teneurs situées juste au-dessous de celles considérées toxiques qu'on a observé des modifications de la vitesse de déplacement et de la direction des bandes d'anchois, ainsi qu'un comportement d'évitement. À de faibles teneurs, le CO_2 n'a pas eu beaucoup d'effet (McFarlane, 1968).

Une autre étude indique que des teneurs élevées en CO_2 (16 à 159 µmol/l) n'ont pas accéléré la croissance d'algues *Thalassiasira pseudonana* (Pruder, 1979).

6.4 Teneurs en dioxyde de carbone et phénomènes dynamiques dans l'eau

Les teneurs en dioxyde de carbone dans l'eau douce sont relativement faibles – normalement inférieures à 5 ppm, mais en eau douce, le CO_2 est toxique à partir de 10 ppm.

Les teneurs en milieu marin peuvent atteindre jusqu'à 500 ppm. Vu que selon la température ces teneurs peuvent correspondre pratiquement au niveau de saturation, la toxicité du CO_2 en milieu marin n'a été que très peu étudiée. Ce genre d'étude ne serait d'ailleurs pas très pertinent étant donné la tolérance élevée des espèces marines et l'action tampon de l'eau salée. Les teneurs en dioxyde de carbone en milieu marin varient généralement entre 160 et 350 ppm (Kelley, 1971), les plus élevées étant généralement enregistrées dans les zones de remontée. Il arrive même que l'eau soit sursaturée en CO_2 dans ces zones. C'est dans les baies et les criques hautement productives que l'on enregistre les plus faibles teneurs. Aux endroits où des cours d'eau se jettent dans la mer, on enregistre en général des teneurs moyennes à élevées (Longerich, 1971). En eau douce l'effet le plus important du CO_2 est la diminution du pH à mesure que la teneur en CO_2 augmente. De prime abord, le pH décroît de 0,25 unité chaque fois que la pression partielle du CO_2 dans l'atmosphère double (Baes, 1981).

Le dioxyde de carbone se dissout dans l'eau pour former du CO_2 hydraté et de l'acide carbonique (H_2CO_3). On obtient généralement la réaction simple suivante:

$$CO_2\,(g) + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3(aq)$$

où l'équilibre dépend de

$$K_o = \frac{[H_2CO_3]}{P_{CO_2}}$$

où $[H_2CO_3]$ est la teneur totale dans l'eau
P_{CO_2} est la pression partielle dans l'air.

Les principales espèces résultant de la dissociation du dioxyde de carbone dans l'eau sont les anions. L'acide carbonique H_2CO_3 indiqué plus haut peut subir deux réactions

$$H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$$

HCO_3^- est connu comme l'ion bicarbonate et CO_3^{2-} comme l'ion carbonate. Si l'ion carbonate est en excès, il y aura précipitation de carbonate de calcium (calcaire), ce qui abaisse (ou maintient constantes) les teneurs en carbonates dans les systèmes aquatiques.

Les concentrations (en millimoles/kg) typiques de ces espèces d'ions dans l'océan sont données ci-dessous (Baes 1981)

	$[H_2CO_3]$	$[HCO_3^-]$	$[CO_3^{2-}]$
Couches brassées	0,01	2,0	0,2
Couches profondes	0,02	2,3	0,1

6.5 Devenir et effets à long terme

Depuis quelques années, on se préoccupe beaucoup des teneurs sans cesse croissantes de l'air en CO_2 et des conséquences (effet de serre). De très nombreux travaux sont consacrés à la question (Lovins, 1981; MacDonald, 1982; NAS, 1979; Williams, 1978). À elle seule, la combustion du pétrole dégagerait annuellement 5 gigatonnes de CO_2 et les dégagements attribuables aux mécanismes naturels d'échange sont estimés à 100 gigatonnes. Il n'y a donc pas lieu de s'inquiéter outre mesure des dégagements atmosphériques de CO_2 advenant un déversement accidentel.

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

Les répercussions physiologiques et toxiques du dioxyde de carbone sont largement documentées. Le CO_2 joue un rôle important en physiologie respiratoire et sanguine en tant que produit des échanges respiratoires. Il est donc essentiel au maintien des activités normales de l'organisme. L'inhalation de CO_2 à des teneurs élevées peut avoir un léger effet narcotique, accélérer la respiration, causer l'asphyxie voire la mort, selon la teneur et la durée d'exposition. La documentation fait état d'effets tératogènes chez des animaux de laboratoire. Une seule étude rapporte que la neige carbonique (dioxyde de carbone solide) a eu un effet cancérogène chez des animaux exposés pour de longues durées.

Le dioxyde de carbone est au nombre des produits listés dans l'inventaire de l'Environmental Protection Agency des États-Unis, dressé conformément à la Loi sur le contrôle des substances toxiques.

Les données toxicologiques sont extraites de sources dignes de confiance. Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée à de faibles teneurs, de sorte qu'elles ne s'appliquent pas nécessairement dans les cas de déversements.

7.1 Normes d'exposition recommandées

Les normes d'exposition recommandées pour le dioxyde de carbone tiennent compte de son action asphyxiante. Les directives des provinces au Canada sont généralement semblables à celles qui sont élaborées par l'ACGIH des États-Unis, sauf indication contraire.

Directives (temps)	Origine	Teneur recommandée	Référence
MAK-D (8 h 45 mn)	République démocratique d'Allemagne	9000 mg/m^3	ILO, 1980
Teneur maximum admissible	Tchécoslovaquie	9000 mg/m^3	ILO, 1980
	Teneurs admissibles pour des expositions de courte durée		
STEL (15 mn)	USA-ACGIH	15 000 ppm (27 000 mg/m^3)	TLV, 1983
Plafond (10 mn)	USA-NIOSH	30 000 ppm	NIOSH crit., 1976
MAK-K (30 mn)	RDA	(27 000 mg/m^3)	ILO, 1980
Teneur maximum admissible (10 mn)	Tchécoslovaquie	(45 000 mg/m^3)	ILO, 1980
STIL* (1 h)	–	30 000 ppm	CHRIS, 1978
STEL (15 mn)	Saskatchewan	18 000 mg/m^3	Sask., 1981
	Autres aspects de la toxicité pour l'homme		
IDLH	USA-NIOSH	50 000 ppm 100 000 ppm	NIOSH Guide, 1978
Teneur létale min. (1 mn)		100 000 ppm	RTECS, 1979
Teneur toxique min.		2000 ppm	ITII, 1981

* Limite d'inhalation de courte durée.

Indice de toxicité par inhalation. – L'indice de toxicité par inhalation (I.T.I.) représente une mesure de la capacité d'une substance à produire un effet nocif à la suite d'une inhalation. On le calcule de la façon suivante:

I.T.I. 1315,12 (pression de vapeur en mm Hg)/TLV®, en ppm

I.T.I. à 21 °C = 11 398,15

7.2 Données sur les effets toxiques

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition	Effets	Référence
• CHEZ L'HOMME		
Dioxyde de carbone solide (glace sèche)	Graves brûlures	NIOSH Crit., 1976

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effets	Référence
• CHEZ L'HOMME		
Dioxyde de carbone solide (glace sèche)	Graves brûlures	NIOSH Crit., 1976
Teneurs variant de 0,03 à 3 % (6 j)	Légère altération de la vision nocturne et de la vision normale des couleurs (les sujets distinguaient difficilement le vert). Aucune perturbation des autres fonctions	Wertzman, 1969

7.2.3 Ingestion

Aucune étude n'a été faite. Rien cependant ne permet d'écarter tout danger en cas d'ingestion de petites quantités de dioxyde de carbone (FDA, 1979).

7.3 Seuil de perception des caractères organoleptiques

7.3.1 Odeur. – Le dioxyde de carbone est inodore (GE, 1979).

7.3.2 Goût. – Le dioxyde de carbone a une saveur aigre s'il est fortement concentré (GE, 1979).

7.4 Études à long terme

7.4.1 Inhalation

Exposition	Effets	Référence
A. Exposition de courte durée		
• CHEZ L'HOMME		
200 000 à 300 000 ppm	Perte de connaissance et convulsions	Lambertsen, 1971. Dans NIOSH Crit., 1976

Exposition	Effets	Référence
279 000 ppm (25 s)	Perte de connaissance	Committee on Aviation Toxicology. Dans NIOSH Crit., 1976
170 000 ppm (37 s)	Perte de connaissance	*Ibidem*
11 000 à 130 000 ppm (8 à 23 mn)	Perte de connaissance	Lambertsen, 1971. Dans NIOSH Crit., 1976
104 000 ppm	Fréquence respiratoire maximale	Dripps et Comroe, 1947. Dans NIOSH Crit., 1976
300 à 104 000 ppm	Augmentation progressive de la ventilation-minute parallèle à l'augmentation de la teneur en CO_2	Dripps et Comroe, 1947. Dans NIOSH Crit., 1976
100 000 ppm (10 %) (1 mn)	Teneur létale min.	RTECS, 1979
100 000 ppm (5-25 mn)	Agitation, confusion, apragmatisme	Glatte, 1967
70 000 à 100 000 ppm	Perte de connaissance	Doc. TLV, 1981
60 000 ppm (6 à 8 mn)	Diminution de l'amplitude du complexe QRS sur l'électro-cardiogramme	Okajima et Simonson, 1962. Dans NIOSH Crit., 1976
50 000 ppm (30 mn)	Intoxication	Doc. TLV, 1981
50 000 ppm (5 %)	Stimulation du centre respiratoire	*Ibidem*
30 000 ppm (3 %)	Légères répercussions si O_2 normal mais nocif si oxygène était réduit à un niveau inférieur à 17 %	*Ibidem*
30 000 ppm	Faible effet narcotique; augmentation de la pression sanguine et accélération du pouls. Diminution de l'acuité auditive	*Ibidem*
20 000 ppm (2 %)	Maux de tête, dyspnée	*Ibidem*
10 000 à 20 000 ppm	Équilibre électrolytique rétabli dans les 3 à 4 semaines qui ont suivi l'exposition	*Ibidem*
20 000 ppm	Respiration plus profonde	*Ibidem*
15 000 ppm (1,5 %)	Le métabolisme du calcium et du phosphore peut être affecté	*Ibidem*
6600 ppm	Aucune répercussion	*Ibidem*
5500 ppm (6 h)	Aucun symptôme perceptible	*Ibidem*
• CHEZ LES MAMMIFÈRES		
90 000 ppm (5 mn)	Teneur létale min.	RTECS, 1979
• CHEZ LE SINGE		
100 000 à 600 000 ppm	La fréquence respiratoire a doublé jusqu'à 10 % de CO_2, puis a diminué. Des teneurs supérieures à 60 % ont été mortelles	Stinson et Mattson, 1970. Dans NIOSH Crit., 1976
300 000 ppm (10 mn)	Stimulation du cortex cérébral	Schaefer, 1963. Dans NIOSH Crit., 1976
300 000 ppm (30 mn)	Intensification de l'activité hypothalamique	Schaefer, 1963. Dans NIOSH Crit., 1976

Exposition	Effets	Référence
• CHEZ LE CHIEN		
300 000 ppm (2 h) suivis de 400 000 ppm (2 h)	Les sujets exposés subitement à de l'air normal après avoir été exposés au CO_2 ont fait des arythmies cardiaques dans les 30 secondes à 6 minutes et sont morts dans les 2,5 à 10 mn	Brown et Miller, 1952. Dans NIOSH Crit., 1976
300 000 ppm	Augmentation de la sécrétion d'adrénaline et de noradrénaline	Harrisson et Seaton, 1965. Dans NIOSH Crit., 1976
150 000 ppm 100 000 ppm 50 000 ppm	Augmentation de la pression du liquide céphalo-rachidien allant de pair avec l'augmentation du CO_2	Small et coll., 1960. NIOSH Crit., 1976
• CHEZ LE COBAYE		
150 000 ppm (6 à 24 h)	Formation d'une membrane hyaline	Schaefer et coll., 1964. Dans NIOSH Crit., 1976
• CHEZ LE RAT		
657 190 ppm (15 mn)	Teneur létale min.	GE, 1979
500 000 ppm (1 h)	Oedème intense qui a disparu 7 jours après la cessation de l'exposition	Niemoeller et Schaefer, 1962. Dans NIOSH Crit., 1976
300 000 ppm (5 h)	*Ibidem*	*Ibidem*
200 000 ppm (30 h)	Tous les sujets sont morts	Carter, 1959. Dans NIOSH Crit., 1976
150 000 ppm (6 h)	Acidose respiratoire décompensée, épanchement pulmonaire et modifications des corps lamellaires des cellules alvéolaires granuleuses	Schaefer et coll., 1964. Dans NIOSH Crit., 1976
100 000 ppm (2 h, 4 h et 8 h)	Dégénérescence des testicules proportionnelle à la teneur et à la durée d'exposition	Van Demark et coll., 1972. Dans NIOSH Crit., 1976
	B. Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
60 000 ppm (5 j)	Signes de changement sur le plan émotif; la vigilance, la coordination et l'habileté à résoudre les problèmes ne semblaient pas amoindries	Weybrew, 1976
40 000 ppm (10 j)	34 % d'augmentation des taux de sérotonine dans le sang; retour à la normale après quelques jours	Gordon, 1968
30 000 ppm (5 j)	Aucun effet apparent; le pH du sang artériel est temporairement passé de 7,40 à 7,37	Glatte, 1967
10 000 à 20 000 ppm	Acidose, fatigue liée à l'insuffisance cortico-surrénale	Doc. TLV, 1981

Exposition	Effets	Référence
15 000 ppm (42 j)	Signes de léger stress, adaptation physiologique	Doc. TLV, 1981
10 000 ppm (22 j)	Léger stress métabolique; la calcémie a accusé une chute importante pour ensuite remonter; aucun effet apparent	Doc. TLV, 1981
• CHEZ LE COBAYE		
150 000 ppm (jusqu'à 73 j)	Valeur accrue pour la calcémie et plus faible pour la phosphatémie, persistantes après 20 j d'exposition; ces effets sont attribués à une stimulation des parathyroïdes	Schaefer et coll., 1964. Dans NIOSH Crit., 1976
150 000 ppm (2 à 7 j)	Retour à la normale de la tension superficielle du tissu pulmonaire; l'oedème pulmonaire a diminué et les membranes hyalines se sont dissipées une fois l'expérience terminée	Schaefer et coll., 1964. Dans NIOSH Crit., 1976
150 000 ppm (24 h/j)	Diminution de l'acidose respiratoire et action sympathicomimétique le troisième jour	Schaefer et coll., 1964. Dans NIOSH Crit., 1976
• CHEZ LE RAT		
30 000 ppm (3 semaines)	Oedème	Niemoeller et Schaefer, 1962. Dans NIOSH Crit., 1976

7.4.2 Tératogénicité

Exposition	Effets	Référence
• CHEZ LE LAPIN		
100 000 à 300 000 ppm (4 à 10 h, pendant 2 à 3 j) (entre le 7^{e} et le 12^{e} jour de gestation)	Malformations cardiaques chez les nouveaux-nés	Grote, 1965. Dans NIOSH Crit., 1976
100 000 ppm (entre le 7^{e} et le 12^{e} jour de gestation)	Effets tératogènes	RTECS, 1979
• CHEZ LE RAT		
60 000 ppm (24 h) (10^{e} jour de gestation)	Teneur toxique min. Effets tératogènes	GE, 1979
60 000 ppm (24 h) (10^{e} jour de gestation)	Effets tératogènes	RTECS, 1979
60 000 ppm (24 h) (entre le 5^{e} et le 21^{e} jour de gestation)	Malformations cardiaques chez les nouveaux-nés	Haring, 1960. Dans NIOSH Crit., 1976

7.4.3 Carcinogénicité

Exposition	Effets	Référence
• CHEZ LA SOURIS Neige carbonique (240 j)	(Recherche de l'action irritante). L'auteur a conclu que l'application d'une substance irritante froide non spécifique, pendant 240 j au moins, a provoqué un carcinome chez les souris traitées	Mansens, 1931. Dans NIOSH Crit., 1976

7.5 Symptômes d'exposition et d'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature courante mentionnés dans la plupart des documents consultés. Seuls les symptômes ou troubles de nature particulière ou inhabituelle sont référencés.

7.5.1 Inhalation

1. Léger effet narcotique
2. Stimulation du centre respiratoire
3. Sensation piquante dans les yeux, le nez et la gorge, à des teneurs élevées
4. Élévation de la pression sanguine et accélération du pouls
5. Maux de tête et dyspnée après un léger effort
6. Acidose et fatigue liée à l'insuffisance cortico-surrénale lors d'exposition continue prolongée
7. Perte de connaissance par asphyxie
8. Mort

7.5.2 Contact avec les yeux

Le dioxyde de carbone solide cause de graves brûlures (NIOSH Crit., 1976)

7.5.3 Contact avec la peau

1. Si le produit est à la température ambiante, il n'aura aucun effet sur la peau
2. La neige carbonique ou la glace sèche peut provoquer des engelures (Matheson, 1980)

7.6 Teneurs habituelles de l'air en CO_2

La teneur de l'air en dioxyde de carbone dépend de plusieurs facteurs et varie considérablement d'un point de prélèvement à un autre. Les données qui suivent devraient permettre au lecteur d'avoir une idée des teneurs en CO_2 dans des endroits divers en l'absence de tout déversement.

Le dioxyde de carbone est normalement présent dans l'air à raison de 320 ppm (0,032 %). Dans une salle de cinéma comble, la teneur en CO_2 peut atteindre 2500 ppm (0,25 %) (NIOSH Crit., 1976).

Lors d'une croisière en mer, les teneurs atmosphériques en CO_2 ont varié de 200 à 700 ppm (Kelley, 1977). Les teneurs au-dessus du sol, en zone active, en l'absence de vent, pourraient atteindre 1500 ppm (Kelley, 1973). Dans les caves d'une brasserie, les valeurs enregistrées s'élevaient à 10 800 ppm (1,08 p. 100). La documentation rapporte de nombreux cas de mort par asphyxie dans les cales des navires et autres espaces clos, en particulier là où le CO_2 est un produit de combustion (moteurs) ou de décomposition (silos). Les teneurs en CO_2 mesurées dans les cales de plusieurs bateaux de pêche variaient de 1 p. 100 à 40 p. 100. Dans les silos mal aérés, on a mesuré jusqu'à 78 p. 100 de CO_2 à un pied au-dessus de la charge. Dans les silos où la ventilation est bien assurée, cette teneur était de 17 p. 100 et grimpait à 30 à 40 p. 100 une fois le silo fermé (NIOSH Crit., 1976).

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre le dioxyde de carbone et divers produits chimiques

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
En général														
Eau										●			Forme de l'acide carbonique	Sax, 1979
Produits chimiques														
Aldéhyde acrylique (acroléine)	●			●									Possibilité de polymérisation	Bretherick, 1979
Aluminium (poudre)		●											Brûle dans une atmosphère de CO_2, si allumé	Bretherick, 1979
Aluminium (poudre) et peroxyde de de sodium			●										Explose en présence de gaz carbonique	NFPA, 1979
Aziridine				●									Peut catalyser la polymérisation	Bretherick, 1979
Monoxyde de césium		●											Brûle dans une atmosphère de CO_2, si allumé; devient incandescent en présence d'humidité	Bretherick, 1979
Diéthylmagnésium		●											Brûle dans une atmosphère de CO_2, si allumé	NFPA, 1978
Lithium		●											Brûle dans une atmosphère de CO_2, si allumé	NFPA, 1978
Carbure acétylénique de lithium diammine		●											Brûle au contact du CO_2	NFPA, 1978
Magnésium (poudre) et peroxyde de sodium			●										Explosion en présence de gaz carbonique	NFPA, 1978
Potassium			●										Forme un explosif sensible au choc avec du CO_2 solide	NFPA, 1978

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de vapeurs toxiques	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de gaz inflammables	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Acétylure de potassium	●												Devient incandescent si chauffé	NFPA, 1978
Sodium	●		●										Brûle dans une atmosphère de CO_2, si allumé. Peut former un explosif sensible au choc avec le CO_2 solide	NFPA, 1978
Sodium et ammoniaque			●										Forme du sodium-carbonyle explosif	NFPA, 1978
Carbure de sodium	●												Devient incandescent au contact du CO_2	NFPA, 1978
Alliage sodium-potassium			●										Avec du CO_2 solide, forme un explosif sensible au choc	NFPA, 1978
Titanium (poudre)			●										Brûle dans une atmosphère de CO_2 au-dessus de 550 °C, si allumé	NFPA, 1978
Groupes de produits chimiques														
Poudres et poussières de métal		●	●										Certaines peuvent brûler dans une atmosphère de CO_2, si allumé	Bretherick, 1979
Matériaux inflammables		●											La libération de CO_2 gazeux peut être cause de décharges électrostatiques et provoquer des étincelles	Bretherick, 1979
Hydrures métalliques et éthers			●								●		Peuvent exploser en présence de CO_2 (p. ex., hydrure d'aluminium)	Bretherick, 1979
Acétylures métalliques			●										Plusieurs brûlent au contact du CO_2	Bretherick, 1979
Métaux et azote			●										Certains métaux en poudre s'enflamment lorsque chauffés dans des mélanges d'azote et de CO_2, (p. ex. Be, Ca, Ce, Th, Ti, U, Zr)	Bretherick, 1979

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation originale a même été respectée afin d'éviter toute déformation de sens. Ce faisant, il devenait impossible d'empêcher que n'apparaissent d'éventuels désaccords entre les sources. Chaque cas de déversement correspondant à une situation donnée, les mesures prises peuvent sembler contradictoires mais étaient en fait parfaitement justifiées dans le cas envisagé. D'autre part, le lecteur notera que la mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Risques d'incendie. – Le dioxyde de carbone est incombustible. Il est fréquemment utilisé comme extincteur d'incendie. Certains matériaux, notamment les métaux en poudre, continueront à brûler même dans une atmosphère de CO_2.

9.1.2 Moyens d'extinction. – Le dioxyde de carbone est un extincteur. Refroidir les récipients touchés par le feu avec de l'eau pulvérisée pour les empêcher d'exploser.

9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement. – Arrêter ou ralentir la fuite du produit si cela ne présente pas de risque. Prendre les précautions nécessaires pour que le dioxyde de carbone liquide et solide ne soit pas en contact avec la peau vu les risques d'engelures.

Le dioxyde de carbone liquide ou solide peut être converti en acide carbonique au moyen d'eau pulvérisée. On neutralisera l'acide carbonique avec des alcalis. Si la fuite de CO_2 ne peut être arrêtée, évacuer le ou les récipients endommagés en plein air. Tenter de colmater l'ouverture ou laisser le récipient se vider complètement (NIOSH/OSHA, 1978). Le dioxyde de carbone gazeux ou liquéfié qui s'échappe d'une bouteille ou autre récipient peut être acheminé dans de l'eau ou une solution de (mono) éthanolamine (MEA). Cette dernière option constitue un excellent moyen pour absorber le CO_2 (Albanese, 1979).

9.1.4 Élimination du polluant

Le dioxyde de carbone peut être évacué sans risque dans l'atmosphère étant donné qu'il se mélange instantanément dans l'air, avant d'atteindre des régions densément peuplées. Dans les zones peu peuplées, le produit peut être recueilli et évacué directement dans un lac ou un cours d'eau (Baes, 1980; 1980a).

9.1.5 Appareils et vêtements de protection. – Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés ne sont connus, il faut revêtir une combinaison entièrement étanche aux agents chimiques.

Si le produit déversé est du dioxyde de carbone:

- L'équipe d'intervention doit porter des vêtements étanches, des gants, des visières (de 20 cm au minimum) et toute autre pièce de vêtement requise pour prévenir tout risque de contact du produit solide avec la peau ou tout contact avec les récipients contenant du dioxyde de carbone en raison du risque d'engelures (NIOSH/OSHA, 1978).
- Des lunettes de sécurité sont recommandées pour la manipulation des bouteilles à haute pression (Air Products MSDS, 1978).

– Des gants amples en matériaux imperméables (en cuir par exemple) sont recommandés pour manipuler du CO_2 liquide froid, ou du dioxyde de carbone solide ou gazeux (Air Products MSDS, 1978).

Le lecteur trouvera dans le tableau qui suit une liste des éléments minimaux de protection des voies respiratoires pour le personnel manipulant du dioxyde de carbone (NIOSH/OSHA, 1978)

Protection respiratoire minimale pour une teneur supérieure à 5000 ppm	
Situation	Équipement*
Gaz – teneur de 50 000 ppm ou moins	Tout respirateur à canalisation d'air Tout appareil respiratoire autonome
Teneur supérieure à 50 000 ppm ou pour entrer ou sortir d'une zone à teneur inconnue	Appareil respiratoire autonome alimenté en air sous pression sur demande ou en un autre mode de pression positive Appareil respiratoire combiné comprenant un appareil respiratoire à canalisation d'air du type C avec un masque couvre-visage avec régulateur incorporé qui fournit l'air soit sur demande, ou en un autre mode de pression positive, soit à débit constant, ainsi qu'un appareil respiratoire autonome fonctionnant sous pression sur demande ou en un autre mode de pression positive
Lutte contre l'incendie	Appareil respiratoire autonome avec masque couvre-visage fonctionnant sous pression positive sur demande ou en un autre mode de pression positive
Évacuation des lieux	Tout masque à gaz couvre-visage protégeant contre le chlore Tout appareil respiratoire autonome de fuite avec masque couvre-visage

* Seul l'équipement approuvé par l'INSHP ou la MSHA doit être utilisé.

9.1.6 Précautions spéciales pour l'entreposage des bouteilles. – Les bouteilles de CO_2 contiennent du dioxyde de carbone à l'état liquide et gazeux à une pression extrêmement forte. Elles doivent donc être manipulées avec soin. Utiliser un mano-détendeur pour raccorder les bouteilles à des canalisations à plus basse pression. Attacher les bouteilles pendant l'utilisation. Ne jamais chauffer une bouteille de gaz comprimé au moyen d'une flamme directe. Utiliser un clapet de non-retour pour éviter le reflux dans le récipient d'entreposage. Éviter de traîner, rouler ou glisser les bouteilles même sur une courte distance (Air Products MSDS, 1978). Entreposer les bouteilles et autres récipients contenant du dioxyde de carbone liquide dans un endroit bien ventilé. Éloigner les bouteilles des sources de chaleur. Ne pas entreposer dans un endroit où il y a beaucoup de va et vient afin d'éviter que les bouteilles et autres récipients soient heurtés au passage. Ne pas enlever les capots de protection des robinets des bouteilles avant leur utilisation. Entreposer séparément les bouteilles vides et les bouteilles pleines. Aucun matériau combustible ne doit se trouver dans la zone d'entreposage. Éviter d'entreposer dans des aires où se trouvent du sel ou autres produits chimiques corrosifs. Stocker les bouteilles à la verticale, robinet en haut (Air Products MSDS, 1978).

Ne pas entreposer dans des endroits clos ou souterrains. La glace sèche doit être entreposée de manière à ce que le gaz qu'elle libère puisse s'échapper (GE, 1979).

10 CAS DE DÉVERSEMENTS ACCIDENTELS

Bien que des cas de déversements de ce produit aient été signalés, nous n'avons trouvé, dans la documentation consultée, aucune mention quant aux méthodes utilisées pour le nettoyage ou les résultats obtenus.

Toute information pertinente sera incluse dans les éditions ultérieures de ce guide.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DES POLLUANTS

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des test simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyse quantitative)

11.1.1 Chromatographie en phase gazeuse (NIOSH, 1977). – La chromatographie en phase gazeuse permet de doser le CO_2 à des teneurs comprises entre 2270 ppm et 10 000 ppm, dans un échantillon d'air de 3 à 4 l environ, prélevé avec un sac à échantillon gazeux. L'échantillon ne requiert aucune préparation. Une fraction aliquote convenable de l'air à analyser est injectée dans un chromatographe en phase gazeuse muni d'un détecteur par conductibilité thermique. L'échantillon est injecté dans une colonne en acier inoxydable de 5 pieds de longueur et 1/4 de pouce de diamètre, garnie de Porapak QS de 80/100 mailles au pouce carré. Le débit de l'hélium est normalement réglé à 100 ml/mn; l'injecteur et la colonne sont à la température ambiante et la température du détecteur est maintenue à 70 °C. La teneur de l'échantillon en dioxyde de carbone est déterminée par la surface du pic et une courbe d'étalonnage.

11.2 Méthode qualitative de mesure du polluant dans l'air

11.2.1 Tubes de Draeger (Draeger Detector Tube Handbook, 1979). – Il existe des tubes Draeger spécialement conçus pour le dosage du dioxyde de carbone. Les tubes de Draeger contiennent un adsorbant imprégné d'un réactif (hydrazine dans le cas du dioxyde de carbone). La couche révélatrice se colore en violet au passage de l'air dans le tube. Le tube est d'abord scellé aux deux extrémités et brisé, et on fait ensuite passer l'air dans le tube.

11.3 Méthode quantitative de mesure du polluant dans l'eau

11.3.1 Titrimétrie (ASTM, 1979). – Cette méthode permet de procéder au dosage du dioxyde de carbone libre présent dans l'eau à des teneurs normalement supérieures à 10 ppm.

Prélever un échantillon d'un litre d'eau à analyser au moyen d'un récipient approprié. Verser 100 ml de cette eau dans un bécher et ajouter 5 gouttes de phénolphtaléine. Procéder

immédiatement au titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium 0,04 *N* jusqu'à ce que la solution se colore en rose pâle, ou titrer avec un pH-mètre en ajoutant de la solution d'hydroxyde de sodium jusqu'à ce que la lecture indique 8,3 exactement. La teneur en dioxyde de carbone libre est déterminée d'après la fraction aliquote de solution de base utilisée.

11.4 Méthode qualitative de mesure du polluant dans l'eau

Prélever l'échantillon tel qu'indiqué en 11.3.1. Dans l'eau, le dioxyde de carbone forme un précipité blanc de carbonate de baryum lorsqu'on ajoute une solution d'hydroxyde de baryum 0,2 *M* (Welcher, 1955).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

(Reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

Air Products MSDS 1978: Air Products and Chemicals, Inc., Material Safety Data Sheet, "Carbon Dioxide", Allentown, PA. (June, 1978).

Air Products SGDS 1981: Air Products and Chemicals, Inc., "Carbon Dioxide", Specialty Gas Data Sheet, Allentown, PA. (1981).

Albanese 1979: Albanese, A.S., Steinberg, M., Environmental Control Technology for Atmospheric Carbon Dioxide, Brookhaven National Laboratory, for U.S. Department of Energy, Washington, DC, BNL 51116. (1979).

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, D1192, D3370, D513-71, Method E, p. 311. (1979).

Baes 1980: Baes, C.F., Beall, S.E., Lee, D.W., Mailand, G., Options for the Collection and Disposal of Carbon Dioxide, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, ORNL-5657-5657. (1980).

Baes 1980a: Baes, C.F., Beall, S.E., Lee, J.W., The Collection, Disposal and Storage of Carbon Dioxide, Institute for Energy Analysis, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. (1980).

Baes 1981: Baes, C.F., The Response of the Oceans to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide, Institute for Energy Analysis, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, for U.S. Dept. of Energy, Washington, DC, ORAV/IEA 81-6 (M). (1981).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Canadian Liquid Gas TDS 1981: Canadian Liquid Air Ltd., "Carbon Dioxide", Technical Data Sheet, Montreal, Quebec. (1981).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

CCPA 1982: Canadian Chemical Producers' Association, Private Communication, Ottawa, Ontario. (1982).

CCR 1978: Department of Industry, Trade and Commerce, Canadian Chemical Register, Ottawa, Canada. (1978).

CD 1975: Liquid Carbonic Canada Limited, Carbon Dioxide, Montreal, Quebec. (1975).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX. (1967).

Chem. Eng. 1974: Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties", Chemical Engineering, Vol. 81, No. 20, pp. 115-122. (30 September 1974).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC. (1978).

Clark 1979: Clarke, M.A., McCrady, W.B., Fielding, C.L., "Independent Production of CO_2 Sensitivity By Nuclear Gene 'DLY' and a Transmissible Agent from Delayed-Recovery 'Drosophila Melanogaster'", Genetics, Vol. 92, pp. 503-510. (June, 1979).

Corpus 1983: Corpus Information Services Ltd., "Carbon Dioxide", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (January, 1983).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1980).

CSS: Airco Inc., Carbon Dioxide Supply Systems, Berkeley, CA. Not dated.

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI. (1978).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH. (1981).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Drager 1979: Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, Fourth Edition, Lubeck, Germany, pp. 44-45. (1979).

Eddy 1976: Eddy, F.B., "Acid-Base Balance in Rainbow Trout (Salmo Gairdneri) Subjected to Acid Stresses", J. Exp. Biol., Vol. 64, pp. 159-171. (1976).

Eddy 1977: Eddy, F.B., Lomholt, J.P., Weber, R.E, Johansen, K., "Blood Respiratory Properties of Rainbow Trout (Salmo Gairdneri) Kept in Water of High CO_2 Tension", J. Exp. Biol., Vol. 67, pp. 37-47. (1977).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1980).

ERM 1982: Environmental Emergency Branch, Emergency Response Manual, Second Draft, Environment Canada, Ottawa, Canada. (February, 1982).

FDA 1979: Food and Drug Administration, Evaluation of the Health Aspects of Carbon Dioxide as a Food Ingredient, Washington, DC, PB80-104615. (1979).

GE 1979: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (July, 1979).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA. Not dated.

Glatte 1967: Glatte, H.A., Welch, B.E., Carbon Dioxide Tolerance; A Review, U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, TX, AD-A017159. (1967).

Glatte 1967a: Glatte, H.A., Motsay, G.J., Welch, B.E., Carbon Dioxide Tolerance Studies, U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, TX, AD664899. (1967).

Gordon 1968: Gordon, E.D., The Effect of High Concentrations of Carbon Dioxide on Blood Serotonin Levels in Man, U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, TX, AD681501. (1968).

GPD: Canadian Liquid Air Ltd., Gas Products Data, Montreal, Quebec. Not dated.

GPP: Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, IN. Not dated.

Gray 1969: Gray, S.P., Calcium, Magnesium and Phosphorus Metabolism During Prolonged Exposure to Carbon Dioxide, Royal Naval Personnel Research Committee, London, England, NTIS No. AD701113. (1969).

HCG 1981: Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1981).

ILO 1980: International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

JANAF 1971: Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC. (June, 1971).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY. (1979).

Kelley 1971: Kelley, J.J., Observations of Carbon Dioxide in the Surface Waters of the North Atlantic Ocean, Barents and Kara Seas, Office of Naval Research, Arlington, VA, AD728476. (1971).

Kelley 1973: Kelley, J.J., Dynamics of the Exchange of Carbon Dioxide in Arctic and Subarctic Regions, Institute of Marine Sciences, Fairbanks, AK, ADA082453. (1973).

Kirk-Othmer 1978: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 4, John Wiley & Sons, New York, NY. (1978).

Kirk-Othmer 1980: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, John Wiley & Sons, New York, NY. (1980).

Lange's Handbook 1979: Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1979).

Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents -For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, PA. (1980).

Linke 1958: Linke, W.F., Solubilities of Inorganic and Metal-organic Compounds, American Chemical Society, Washington, DC. (1958).

Liquid Carbonic 1975: Liquid Carbonic Inc., Total Capability in Carbon Dioxide, Chicago, IL. (1975).

Longerich 1971: Longerich, L.L., Billington, M., Alexander, V., Kelley, J.J., Hood, D.W., Carbon Dioxide in the Glacial Fiord System of Southeast Alaska, Office of Naval Research, Arlington, VA, AD734672. (1971).

Lovins 1981: Lovins, A.B., Lovins, L.H., Krause, F., Bach, W., Least-Cost-Energy-Solving the CO2 Problem, Brick House Publishing Company, Andover, MA. (1981).

Macdonald 1982: Macdonald, G.J., The Long-Term Impacts of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide Levels, Ballinger Publishing Company, Cambridge, MA. (1982).

Matheson 1974: Matheson Gas Products, The Matheson Unabridged Gas Data Book, Lyndhurst, NJ. (1974).

Matheson 1980: Matheson Gas Products, Gas Data Book, Lyndhurst, NJ. (1980).

McFarland 1968: McFarland, W.N., A Study of the Effect of Group Metabolism on the Schooling Behaviour of Fishes, Office of Naval Research, Arlington, VA, AD715113. (1968).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

NAS 1979: National Academy of Sciences, Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment, Washington, DC. (1979).

Nebeker 1976: Nebeker, A.V., Bouch, G.R., Stevens, D.G., Carbon Dioxide and Oxygen-Nitrogen Ratios as Factors Affecting Salmon Survival in Air-Saturated Water, U.S. Environmental Protection Agency, Corvalis, OR, Report No. EPA 600/J-76-016. (1976).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA. (1978).

NIOSH 1977: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 3, S. 249, Cincinnati, OH. (April, 1977).

NIOSH Crit. 1976: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Carbon Dioxide, Public Health Service. (August, 1976).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC. (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

Perry 1973: Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1973).

Pruder 1979: Pruder, G.D., Effect of pH, Carbon Dioxide, Oxygen and Light on the Growth of Thalassiosira Pseudonana (Hustedt) Hassle and Heimdal Clone 3H, An Important Food for Bivalve Molluscan Mariculture, Delaware University, Newark, for NOAA, Sea Grant Office, Rockville, MD, PB299109. (1979).

Rosenstock 1977: Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC. (1977).

RTDCR 1974: Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, Canadian Transport Commission, published by Supply & Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH. (September, 1980).

Sask. 1981: Saskatchewan Labour, Occupational Health and General Regulations, Occupational Health and Safety Branch. (1981).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1979).

Scott 1979: Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th Edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario. (1979).

Shreve 1977: Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1977).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL. (May, 1979).

TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH. (1983).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA. (1978).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1975).

Verschueren 1977: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1977).

Water Management Goals 1978: Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

Weitzman 1969: Weitzman, D.O., Kinney, J.A.S., Luria, S.M., Effect on Vision of Repeated Exposure to Carbon Dioxide, Bureau of Medicine and Surgery, U.S. Naval Submarine Medical Center, Groton, CT, AD691402. (1969).

Welcher 1955: Welcher, F.J., Hahn, R.B., Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ, p. 311. (1955).

Weybrew 1970: Weybrew, B.B., An Exploratory Study of the Psychological Effects of Intermittent Exposure to Elevated Carbon Dioxide Levels, U.S. Naval Submarine Medical Center, Groton, CT, AD734124. (1970).

Williams 1978: Williams, J. (ed.), Carbon Dioxide, Climate and Society, Pergamon Press, New York, NY. (1978).

WQC 1963: McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

WQCDB 1973: Water Quality Criteria Data Book - Vol. 5. Effects of Chemicals on Aquatic Life, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. (1973).

WQCDB-2 1971: Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book: Inorganic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 2. (1971).

12.2 Bibliographie

Air Products and Chemicals, Inc., "Carbon Dioxide", Specialty Gas Data Sheet, Allentown, PA. (1981).

Air Products and Chemicals, Inc., Material Safety Data Sheet, "Carbon Dioxide", Allentown, PA. (June, 1978).

Airco Inc., Carbon Dioxide Supply Systems, Berkeley, CA. Not dated.

Albanese, A.S., Steinberg, M., Environmental Control Technology for Atmospheric Carbon Dioxide, Brookhaven National Laboratory, for U.S. Department of Energy, Washington, DC, BNL 51116. (1979).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH. (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV•s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH. (1983).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, D1192, D3370, D513-71, Method E, p. 311. (1979).

Baes, C.F., The Response of the Oceans to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide, Institute for Energy Analysis, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, for U.S. Department of Energy, Washington, DC, ORAV/IEA 81-6 (M). (1981).

Baes, C.F., Beall, S.E., Lee, D.W., The Collection, Disposal and Storage of Carbon Dioxide, Institute for Energy Analysis, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. (1980).

Baes, C.F., Beall, S.E., Lee, D.W., Mailand, G., Options for the Collection and Disposal of Carbon Dioxide, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, ORNL-5657-5657. (1980).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

Canadian Chemical Producers' Association, Private Communication, Ottawa, Ontario. (1982).

Canadian Liquid Air Ltd., "Carbon Dioxide", Technical Data Sheet, Montreal, Quebec. (1981).

Canadian Liquid Air Ltd., Gas Products Data, Montreal, Quebec. Not dated.

Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply & Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

Clarke, M.A., McCrady, W.B., Fielding, C.L., "Independent Production of CO_2 Sensitivity By Nuclear Gene 'DLY' and a Transmissible Agent from Delayed-Recovery 'Drosophila Melanogaster'", Genetics, Vol. 92, pp. 503-510. (June, 1979).

Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1981).

Corpus Information Services Ltd., "Carbon Dioxide", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (January, 1983).

Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1979).

Department of Industry, Trade and Commerce, Canadian Chemical Register, Ottawa, Canada. (1978).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI. (1978).

Eddy, F.B., "Acid-Base Balance in Rainbow Trout (Salmo Gairdneri) Subjected to Acid Stresses", J. Exp. Biol., Vol. 64, pp. 159-171. (1976).

Eddy, F.B. Lomholt, J.P., Weber, R.E., Johansen, K., "Blood Respiratory Properties of Rainbow Trout (Salmo Gairdneri) Kept in Water of High CO_2 Tension", J. Exp. Biol., Vol. 67, pp. 37-47. (1977).

Environmental Emergency Branch, Emergency Response Manual, Second Draft, Environment Canada, Ottawa, Canada. (February, 1982).

Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book: Inorganic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 2. (1971).

Food and Drug Administration, Evaluation of the Health Aspects of Carbon Dioxide as a Food Ingredient, Washington, DC, PB80-104615. (1979).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL. (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY. (July, 1979).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA. Not dated.

Glatte, H.A., Motsay, G.J., Welch, B.E., Carbon Dioxide Tolerance Studies, U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, TX, AD664899. (1967).

Glatte, H.A., Welch, B.E., Carbon Dioxide Tolerance: A Review, U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, TX, AD-A017159. (1967).

Gordon, E.D., The Effect of High Concentrations of Carbon Dioxide on Blood Serotonin Levels in Man, U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, TX, AD681501. (1968).

Gray, S.P., Calcium, Magnesium and Phosphorus Metabolism During Prolonged Exposure to Carbon Dioxide, Royal Naval Personnel Research Committee, London, England, NTIS No. AD701113. (1969).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA. (1978).

International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY. (1979).

Kelley J.J., Dynamics of the Exchange of Carbon Dioxide in Arctic and Subarctic Regions, Institute of Marine Sciences, Fairbanks, AK, ADA082453. (1973).

Kelley, J.J., Observations of Carbon Dioxide in the Surface Waters of the North Atlantic Ocean, Barents and Kara Seas, Office of Naval Research, Arlington, VA, AD728476. (1971).

Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 4, John Wiley & Sons, New York, NY. (1978).

Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, John Wiley & Sons, New York, NY. (1980).

Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, PA. (1980).

Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, Fourth Edition, Lubeck, Germany, pp. 44-45. (1979).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH. (September, 1980).

Linke, W.F., Solubilities of Inorganic and Metal-organic Compounds, American Chemical Society, Washington, DC. (1958).

Liquid Carbonic Canada Limited, Carbon Dioxide, Montreal, Quebec. (1975).

Liquid Carbonic Inc., Total Capability in Carbon Dioxide, Chicago, IL. (1975).

Longerich, L.L., Billington, M., Alexander, V., Kelley, J.J., Hood, D.W., Carbon Dioxide in the Glacial Fiord System of Southeast Alaska, Office of Naval Research, Arlington, VA, AD734672. (1971).

Lovins, A.B., Lovins, L.H., Krause, F., Bach, W., Least-Cost-Energy-Solving The CO_2 Problems, Brick House Publishing Company, Andover, MA. (1981).

Macdonald, G.J., The Long-Term Impacts of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide Levels, Ballinger Publishing Company, Cambridge, MA. (1982).

Matheson Gas Products, The Matheson Unabridged Gas Data Book, Lyndhurst, NJ. (1974).

Matheson Gas Products, Gas Data Book, Lyndhurst, NJ. (1980).

McFarland, W.N., A study of the Effect of Group Metabolism on the Schooling Behaviour of Fishes, Office of Naval Research, Arlington, VA, AD715113. (1968).

McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

National Academy of Sciences, Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment, Washington, DC. (1979).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX. (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA. (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 3, S. 249, Cincinnati, OH. (April, 1977).

Nebeker, A.V., Bouch, G.R., Stevens, D.G., Carbon Dioxide and Oxygen-Nitrogen Ratios as Factors Affecting Salmon Survival in Air-Saturated Water, U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, OR, Report No. EPA 600/J-76-016. (1976).

Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1973).

Pruder 1979: Pruder, G.D., Effect of pH, Carbon Dioxide, Oxygen and Light on the Growth of Thalassiosira Pseudonana (Hustedt) Hassle and Heimdal Clone 3H, An Important Food For Bivalve Molluscan Mariculture, Delaware University, Newark, for NOAA, Sea Grant Office, Rockville, MD, PB299109. (1979).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC. (1977).

Saskatchewan Labour, Occupational Health and General Regulations, Occupational Health and Safety Branch. (1981).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1979).

Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th Edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario. (1979).

Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (1977).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC. (June, 1971).

Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1975).

Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, IN. Not dated.

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Carbon Dioxide, Public Health Service. (August, 1976).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC. (1978).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC. (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC. (1978).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. (1977).

Water Quality Criteria Data Book - Vol. 5. Effects of Chemicals on Aquatic Life, Office of Research and Development, U.S Environmental Protection Agency, Washington, DC. (1973).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1980).

Weitzman, D.O., Kinney, J.A.S., Luria, S.M., Effects on Vision of Repeated Exposure to Carbon Dioxide, Bureau of Medicine and Surgery, U.S. Naval Submarine Medical Center, Groton, CT, AD691402. (1969).

Welcher, F.J., Hahn, R.B., Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ, p. 311. (1955).

Weybrew, B.B., An Exploratory Study of the Psychological Effects of Intermittent Exposure to Elevated Carbon Dioxide Levels, U.S. Naval Submarine Medical Center, Groton, CT,. AD734124. (1970).

Williams, J. (ed.), Carbon Dioxide, Climate and Society, Pergamon Press, New York, NY. (1978).

Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties", Chemical Engineering, Vol. 81, No. 20, pp. 115-122. (30 September 1974).

Imprimé au Canada